

名古屋大学技術職員研修（装置開発コース）を受講して

○立花健二^{A)}、岡本久和^{A)}、鷲見高雄^{B)}、小塚基樹^{B)}、中西幸弘^{B)}、中木村雅史^{B)}

^{A)} 教育・研究技術支援室 装置開発技術系

^{B)} 工学系技術支援室 装置開発技術系

概要

我々は、昨年8月に行なわれた名古屋大学技術職員研修において、「装置開発コース」を受講した。研修テーマは「測定技術」であり、研修の目的は、「装置開発および機械工作に必要な測定技術における知識および測定方法を習得し、研修を通して交流を図る」であった。内容は一般講義、専門講義、および実習に分かれており、それぞれの分野において高度な専門知識を持った職員が講師となって行なわれた。以下、研修受講者の立場から、研修の概要説明と感想を述べる。

1 はじめに

我々の所属する装置開発技術系では、研究者の依頼に基づいて、様々な実験機器を製作している。従来から備えられている汎用旋盤や汎用フライス盤といった工作機械に加え、超精密NC旋盤、マシニングセンタ、ワイヤカット放電加工機などが導入されている。加工品の形状を測定するために、サブミクロンオーダーの形状を非接触で三次元測定できる測定器なども導入されている。しかし、通常の業務では、どこにどのような測定器があるのか、存在自体を知らない場合が多い。今回の研修は、普段触れることの少ない測定器について知る貴重な機会であった。

2 一般講義と専門講義について

今回の研修では、まず研究者から開発中の衛星搭載用X線望遠鏡についての講義があった。紙面の関係で詳細は割愛するが、最先端の研究と技術職員の業務との関わりが良くわかる内容であった。

技術職員の中には、永年、研究開発業務に関わるうちに特に優れた技術を身に付けた者も少なくない。専門講義として、測定工具の使い方と超精密加工についての講義があった。

3 実習について

3.1 マシニングセンタを用いた実習

今回の実習の最初のテーマは、CAD/CAMマシニングセンタを用いた加工に関するものであった。使用したマシニングセンタ（Okuma MB-46VAE）の外観を図1に示す。また、機械の諸元を表1に示した。

加工物は、後の非接触三次元形状測定の実習で使用するカマボコ形状の試験片（寸法：30×30×20、材料：A2017）であった。



図1 マシニングセンタの外観

講師が実際の加工手順について説明を行いながら、一連の作業が行なわれた。

加工に必要なNCプログラムは、あらかじめ準備してあるCADデータをCAM端末に送り、加工条件などを設定することで、ほぼ自動的に生成されるものであった

(使用ソフト：日本ユニシス(株) CADCEUS Ver.6、端末の外観を図2に示す)。



図2 CAD/CAM 端末

表1 マシニングセンタの概要

	項目	単位	
移動量	X軸移動量	mm	762
	Y軸移動量	mm	460
	Z軸移動量	mm	460
テーブル	作業面の大きさ	mm	460×1000
	テーブルの大きさ	mm	460×1000
	最大積載質量	kg	700
主軸	回転速度	rpm	50～8000
ATC	工具収納本数(OP)	本	20(32、48)
大きさ	所用床面積(幅×奥行き)	mm	2160×2700
	機械質量	kg	6500
その他	案内形式		3軸リニアガイド

加工品の外観を図3に示した。2種類あるがこれは工具の送り方向およびスキャンピッチが異なるものであり、他の実習テーマ（非接触三次元形状測定実習）での試験片として使用される。



図3 加工した試験片

3.2 ワイヤ放電加工実習

ワイヤカット放電加工機（AQ327型 ソディック(株)）を用いた実習を行なった。ワイヤ放電加工機の外観を図4に示す。

また、加工機の概要を表2に示した。

まず、講師からワイヤカット放電加工についての説明を受けた後、実際の加工手順について説明を受けながら一連の加工作業を行なった。

加工材料はステンレス（SUS304、10mm厚）であり20×20mm正方形の試験片を切り出した。ワイヤカット放電加工は、単に形を切り出すだけでなく、一度切り出した面を弱い放電条件で再加工することで面粗さを改善できる。そこで、表面粗さ計による測定実習のサンプルとして加工条件の異なる試験片を加工した。加工品の外観を図5に示した。



図4 ワイヤカット放電加工機

表2 ワイヤカット放電加工機の概要

	項目	単位	
移動量	X軸移動量	mm	370
	Y軸移動量	mm	270
	Z軸移動量	mm	250
テーブル	補助テーブルストローク(U軸×V軸)	mm	120×120
	ワークテーブル寸法(幅×奥行き)	mm	606×396
	加工タンク内寸法(幅×奥行き)	mm	850×620
	最大加工物寸法	mm	570×420×240(浸漬:230)
	最大積載質量	kg	500(浸漬:350)
	テーブル加工制御角度	°	±25°(ワーク厚み100mm)
	ワイヤ径	mm	φ0.15～φ0.30
大きさ	機械本体寸法	mm	2125×2200×2220
	機械質量	kg	3400kg
その他	駆動方式		リニア駆動



図5 加工品

3.3 非接触式三次元測定器による測定実習

高精度が要求される精密加工部品の検査において必要不可欠となっている非接触式三次元測定器についての実習が行なわれた。

まず、非接触式三次元測定器の測定原理などに関する説明の後、受講者が自ら操作マニュアルを見ながら、マシニングセンタ実習で製作した試験片（図 3）を測定した。今回使用した非接触式三次元測定器（NH-6 三鷹光器㈱）の外観を図 6 に示した。また主な仕様を表 3 に示した。

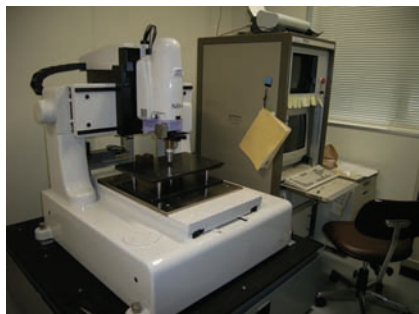


図 6 非接触式三次元測定器の外観

表 3 非接触式三次元測定器の概要

	項目	単位	
可動範囲	X、Y	mm	400 × 500
	Z	mm	170
測定精度	X、Y	μm	1.5 + 10L/1000
	Z	μm	1 + 50L/1000
	測定再現性	μm	σ = 0.03
その他	測定物の最大重量	kg	100

L:測定長 [mm]

3.4 表面粗さ計の使用法

まず、表面粗さについての講義があった。JISの粗さ規格は、国際規格であるISO規格の変更に対応するため、1982年、1994年および2001年に改定されている。我々の職場でも加工品の面粗さを測定する事があるが、粗さについて系統的に学ぶ機会が少ない。そこで、講師から規格改定後の様々な粗さ定義についての詳しい解説があった。その上で、ワイヤカット放電加工機で加工した試験片（図 5）の表面粗さを表面粗さ計（Form Talysurf 50e Taylor Hobson 社）で測定した。



図 7 表面粗さ計



図 8 表面粗さ計で測定中の試験片

3.5 接触式三次元測定器の使用法

我々は、機械加工後に図面通りの寸法になっているかをノギスやマイクロメータを使用して調べる。図面には、従来の寸法公差の他に、幾何公差が示されている場合が多い。そのような場合、三次元測定器を用いると、比較的簡単に加工品の同軸度や真円度、平面度などを測定できる。そこで、今回は接触式三次元測定器を使って、試験片を測定する実習を行なった。

測定器（ミットヨ QM-MEASURE 353）の外観を図 9 に示す。

被測定物は、形状の部分ごとに、加工方法や手順が変えてある。例えば、円筒形状のものについては、三つ爪チャックで把握して旋削したものと、生爪を用いて旋削したものの比較や、ドリル穴とエンドミル穴の直角度の比較などを通して、精度の違いが理解できるように配慮されている（図 10）。



図 9 接触式三次元測定器

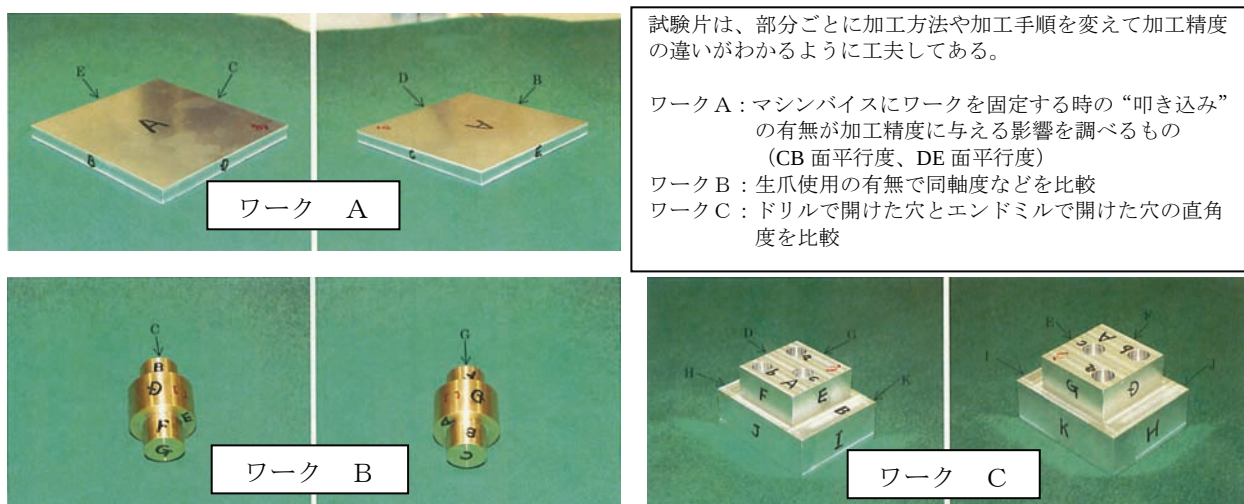


図 10 接触式三次元形状測定 試験片（3 種類）

3.6 硬度計の使用方法

硬度には色々な種類があるが、今回の実習ではロックウェル硬さについて実習した。試験機（AKASHI ATK-600）の外観を図 1 1 に示す。試験片は 11 種類準備されており、材料が何であるかは事前に知らされていない。材料の色、手に取った時の重さ、そして測定した硬さデータから、材料が何であるかを当てるという工夫がされていた。



図 1 1 硬さ試験機



図 1 2 硬さ試験 試験片（11 種）

3.7 原子間力三次元測定器の使用方法

極めて微小な表面形状（nm オーダー）を測定するためには、原子間力顕微鏡が用いられる。具体的な使用目的として、研磨面の形状測定などがあげられる。

今回使用した原子間力顕微鏡（Nanosurf Mobile - S : Nanosurf 社）の外観を図 1 3 に示した。スキャンレンジ（X, Y）は $10\ \mu\text{m}$ 、高さ方向レンジ（Z）は $1.8\ \mu\text{m}$ 、測定分解能は $0.027\ \text{nm}$ である（高分解能モード）。測定物は、アルミニウムの研磨面とステンレスの研磨面（図 1 4）であった。測定結果を図 1 5 に示した。

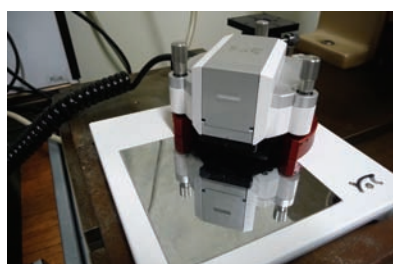


図 1 3 原子間力顕微鏡

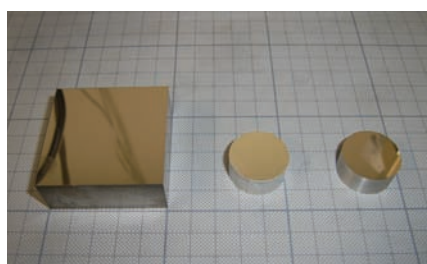


図 1 4 測定した試料

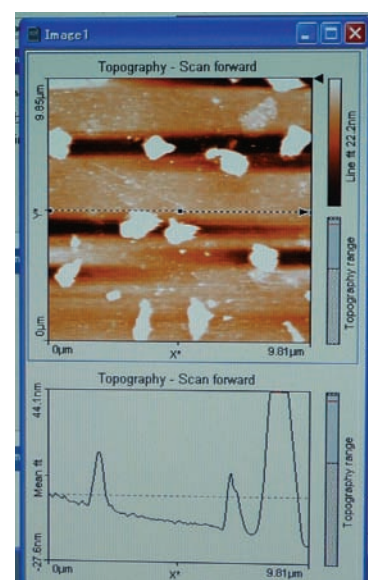


図 1 5 形状測定結果

3.8 アーム式携帯型 3 次元測定器の使用方法

測定場所によらず、簡単に部品の形状測定や C A D データとの比較ができる測定器としてアーム式携帯型 3 次元測定器がある。今回使用した携帯型 3 次元測定器 (Faro Platinum Arm) の外観を図 1 6 に示した。この測定器はアームの一端が固定され、反対側の先端取り付けられたプローブをワークに当てて形状測定するものである (図 1 7)。測定範囲は 2 . 4 m であり、 $30\text{ }\mu\text{m}$ の精度で測定が可能^[1]である。

今回は、実習課題としてベアリング外輪 (NU1038C0P6 : 外輪直径 2 9 0 mm) の真円度測定 (幾何公差測定機能)、アングルブロックの角度測定 (寸法測定機能)、および両端フランジ部品の 3 次元形状測定 (測定した 3 次元データを I G E S 形式で保存) を行なった。



図 1 6 アーム式携帯型 3 次元測定機^[1]



図 1 7 実習の様子 (アングルブロックを測定中)

4 まとめ

4.1 実習全体

- 1) N C 工作機械の加工プログラムの作成 (マシニングセンタ、ワイヤ放電加工機) は C A D / C A M が活用されており、複雑な形状のプログラム作成が非常にスムーズな点が印象に残った。
- 2) 接触式の形状測定器では、測定物が変形するため正確に測定できないものや、サブミクロンのオーダーで測定しなくてはならないものなど、測定対象に応じた適切な測定器の選択が重要と感じた。

4.2 感想

- 1) 実習は 2 日間行なわれたが、テーマ数は 8 テーマと非常に多いので、テーマごとの時間が短いように感じた。
- 2) 測定器が使いやすい事に感心した (FARO Arm、接触式三次元測定器 QM-MEASURE 353 (ミットヨ))。
- 3) 普段は交流の少ない技術職員と接する貴重な機会となった。

参考文献

[1] ファロー・ジャパン(株) Homepage (<http://www.faro-arm.jp/>)

ローパスフィルタ（LPF）回路の設計・製作-平成21年度名古屋大学技術職員研修（計測・制御コース）を受講して

○堀川信一郎^{A)}、川上申之介^{A)}、瀬川朋紀^{A)}、山本優佳^{A)}、福森勉^{B)}

^{A)} 教育・研究技術支援室 計測・制御技術系

^{B)} 工学系技術支援室 装置開発技術系

概要

平成21年度名古屋大学技術職員研修（計測制御コース）が平成21年8月26日から28日に行われた。本研修の目的は、「計測・技術に必要な演算増幅回路の学習およびプリント基板加工機を使った電子回路基板製作法の習得」であった。我々はこの研修に参加し、演算増幅器（オペアンプ）とその典型的な利用例であるアナログフィルタ回路について学習し、プリント基板加工機を使用したローパスフィルタ（LPF）の製作実習を行った。ここでは、バターワース型、チェビシェフ型、ベッセル型と呼ばれる特性の異なる3種のLPFの設計・製作、動作検証について報告する。

なお、この研修におけるLPF回路の設計は、「アナログ回路応用マニュアル（島田公明、日本放送出版協会）」[1]に基づいている。

1 LPF 回路

LPF とは、遮断周波数 f_c よりも低い周波数は通し、高い周波数成分は通さないフィルタ回路である。減衰傾斜が 6dB/oct となる（LPF の場合、周波数が2倍になると利得が半分に減衰する）フィルタが基本で、これを一次のフィルタという。本研修ではオペアンプを利用した（増幅率=1）2次（12dB/oct）のLPFの設計・製作をした。

オペアンプ、抵抗 R_1 、 R_2 およびコンデンサ C_1 、 C_2 からなる基本回路を図1(a)に示す。実際の回路中には図1(b)に示したように、電源を安定させるためのバイパスコンデンサ $C_{3,4}$ (0.22 μ F) やオペアンプのオフセット調整用抵抗の R_3 (1.5 k Ω) および可変抵抗 VR(100 k Ω) が加わる。

この LPF 回路の周波数特性は角周波数 ω に対して以下に示す伝達関数 $A(j\omega)$ で表現される。

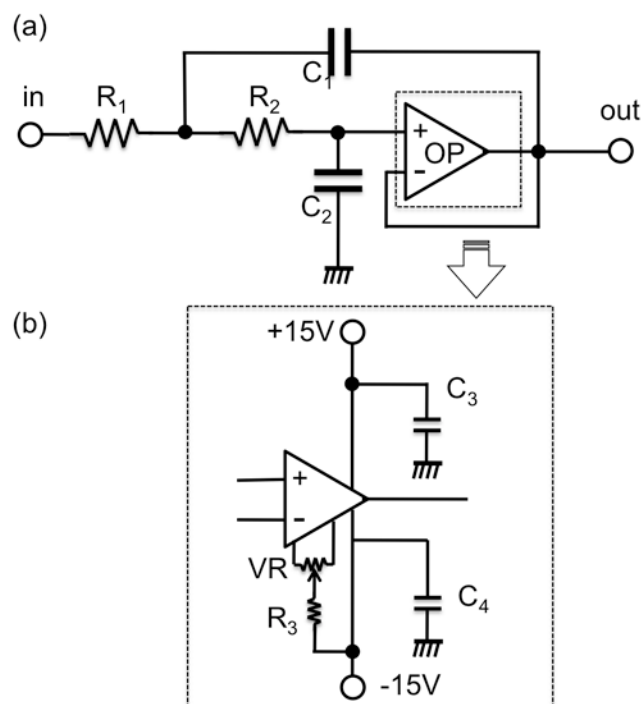


図1. LPF 回路図. (a)LPF 基本回路：オペアンプ OP、抵抗 R_1 、 R_2 、コンデンサ C_1 、 C_2 が基本となる. (b)付属的回路：電源を安定させるためのバイパスコンデンサ C_3 、 C_4 や、オペアンプのオフセット調整用 R_3 、VR からなる.

$$A(j\omega) = \frac{1}{(j\omega/\omega_c)^2 + 2a(j\omega/\omega_c) + 1} \quad (1-1)$$

ここで ω_c は f_c に対応する角周波数、 a はフィルタの利得特性、位相特性を決めるパラメーターであり、次式で表される。

$$\begin{aligned} \omega_c &= 2\pi h f_c = \frac{1}{\sqrt{C_1 R_1 C_2 R_2}} \\ 2a &= C_2 (R_1 + R_2) \omega_c \end{aligned} \quad (1-2)$$

h は伝達関数を各フィルタ型に対する遮断周波数の定義（3.1に記述）に合わせるための係数である。

角周波数 ω の正弦波に対する利得と位相角は、この伝達関数の絶対値および偏角で表され、以下のようになる。

$$\text{利得(dB)} \quad G(\omega) = 20 \log_{10} |A(j\omega)|, \quad |A(j\omega)| = \frac{1}{\sqrt{(\omega/\omega_c)^4 + 2(2a^2 - 1)(\omega/\omega_c)^2 + 1}} \quad (2)$$

$$\text{位相角(degree)} \quad \arg A(j\omega) = \tan^{-1} \left(\frac{-2a(\omega/\omega_c)}{1 - (\omega/\omega_c)^2} \right) \quad (3)$$

主なフィルタ型としては、バターワース型、チェビシェフ型、ベッセル型の3種のフィルタがよく知られている。各フィルタの特徴については表1にまとめた。

表1. 主なフィルタ型とその特徴

フィルタ型	特徴
バターワース型 (Butterworth)	最大平坦型とも呼ばれる。通過帯域の利得特性が平坦で入力に対して素直な出力が得られる。
チェビシェフ型 (Chebyshev)	通過帯域にリップル（波状の利得特性の変化）が出るが、遮断帯域ですばやく設計された減衰傾斜に近づく、減衰特性重視のフィルタ。
ベッセル型 (Bessel)	通過帯域における利得特性の平坦性はバターワース型に劣るが、遅延時間が一定となる位相特性を持つため波形伝送ひずみを受けない。パルス信号のフィルタリングに適している。

2 設計

本研修では、バターワース型、チェビシェフ型（リップル幅 2dB、1dB、0.5dB）、ベッセル型の合計5つのLPFの設計と製作を行った。

目的のLPF回路に使用する抵抗 R_1 、 R_2 、コンデンサ C_1 、 C_2 の組み合わせは無数に存在するが、抵抗の標準値はコンデンサに比べてピッチが細かいため、手持ちのコンデンサから適当な物を選定した方が設計しや

すい。さらに、 $R_1=R_2=R$ とすれば、(1-2) 式は簡単になり $a=\sqrt{C_2/C_1}$ を得る。コンデンサの比率を変えるだけで目的にあった特性を持つフィルタを作成できることがわかる。また抵抗 R は、 $R=1/2\pi hf_c\sqrt{C_1C_2}$ より求まる。従ってフィルタの設計は、1) 選んだフィルタ型から使用する C_1 と C_2 を決定し、2) 遮断周波数（今回は 1.00 kHz）に対して、抵抗 R を決定すればよい。

各フィルタ回路の設計に使用した a 、 h と選定したコンデンサ C_1 、 C_2 、抵抗 R 及び実際の回路に対して計算された遮断周波数 f_c^* と a^* を表 2 にまとめた。使用する抵抗やコンデンサは計算から得られる値に近いものを選ぶため、実際の LPF 回路の周波数特性を表す f_c^* と a^* は設計値とは正確には一致していないが、その差は数%未満となっている。今回使用した抵抗（金属皮膜抵抗）とコンデンサ（フィルムコンデンサ）の誤差がそれぞれ 1%、2-5%であることを考量すれば全く問題にならない。

オペアンプには FET（電界効果トランジスタ）入力汎用オペアンプである TL081 を使用している。

プリント基板加工機を使用した基板作成法については本研修会報告集、福森の報告を参照して頂きたい [2]。

表 2. フィルタ設計表. 各フィルタ設計 ($f_c=1.00$ kHz) に使用した a 、 h と、選定した抵抗 R 、コンデンサ C_1 、 C_2 、及び実際の回路に対して計算された遮断周波数 f_c^* と a^*

LPF 型		a	h	C_1 (pF)	C_2 (pF)	R (k Ω)	f_c^* (kHz)	a^*
バタワース(Butterworth)型		0.707	1	10000	5000	22	1.02	0.707
チェビシェフ(Chebyshev)型	0.5dB	0.579	1.233	3000	1000	74	1.01	0.577
	1dB	0.523	1.05	1000	270	288	1.01	0.520
	2dB	0.443	0.907	5000	1000	78	1.01	0.447
ベッセル(Bessel)型		0.866	1.272	1000	750	144	1.00	0.866

3 検証実験

作成した各フィルタの周波数-利得特性・位相特性、入出力のリニアリティについて検証実験と比較を行った。実験の前にオフセット調整が必要である。LPF の入力端子を短絡することで入力電圧を 0V とし、100 k Ω の VR を変化させ、出力電圧が 0V となるように調整した。

3.1 周波数-利得特性の測定

入力電圧を 1 Vpp で一定とし、入力周波数を 10Hz から 10 kHz まで変化させ出力電圧を測定し利得を求めた。測定値と設計回路について計算した利得特性を図 2 に示す。

チェビシェフ型はおおよそ設計通りのリップル幅がでており、リップル幅に対応して、より低い周波数で最終的な減衰傾斜(12dB/oct)に近づいていることが確認できる。ベッセル型はバタワース型に

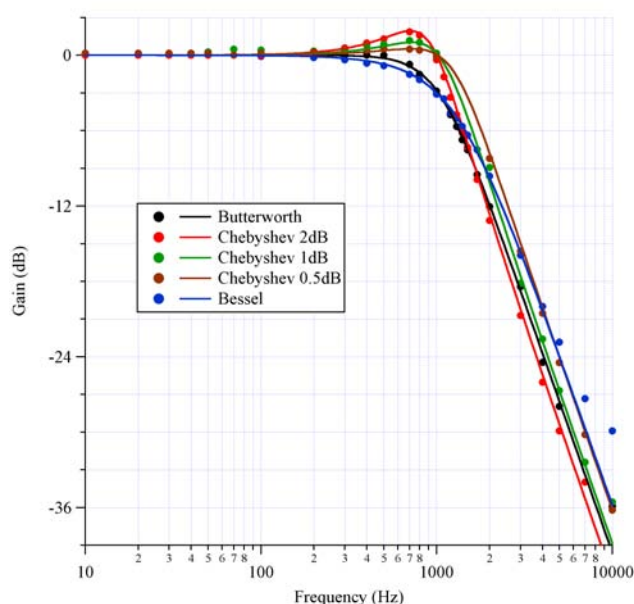


図 2. 周波数-利得特性. 各色●が測定値、実線が計算値を示す。

比べて低い周波数から平坦性を失い、緩やかに最終的な減衰傾斜に近づく。

バタワース型とベッセル型の遮断周波数は利得が-3dBとなる周波数、チェビシェフ型は減衰帯域に入る(<0dB)周波数と定義されている。遮断周波数についても測定値は計算値によく一致しており、各フィルタともに設計通りの周波数特性が出ている。

3.2 周波数-位相特性の測定

入力電圧を1 V_{pp}で一定とし、入力周波数を10 Hzから10 kHzまで変化させたときの位相角を測定した。測定値と計算値を図3に示す。各フィルタともに計算値にほぼ一致する結果が得られている。

位相特性の違いは、矩形波にのった高周波ノイズの除去処理をオシロスコープで実際に観察すると分かりやすい。300 Hzの矩形波にノイズとして2 MHzの正弦波を重ねた入力信号を各フィルタに処理させ、そ

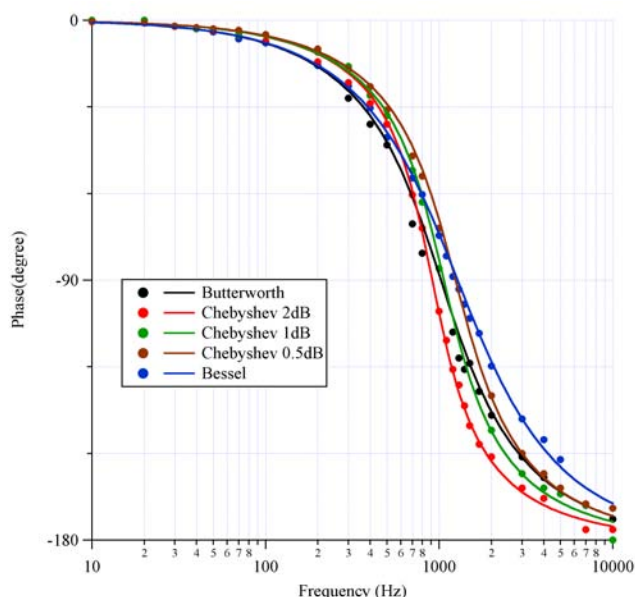


図3. 周波数-位相特性. 各色●が測定値、実線が計算値を示す。

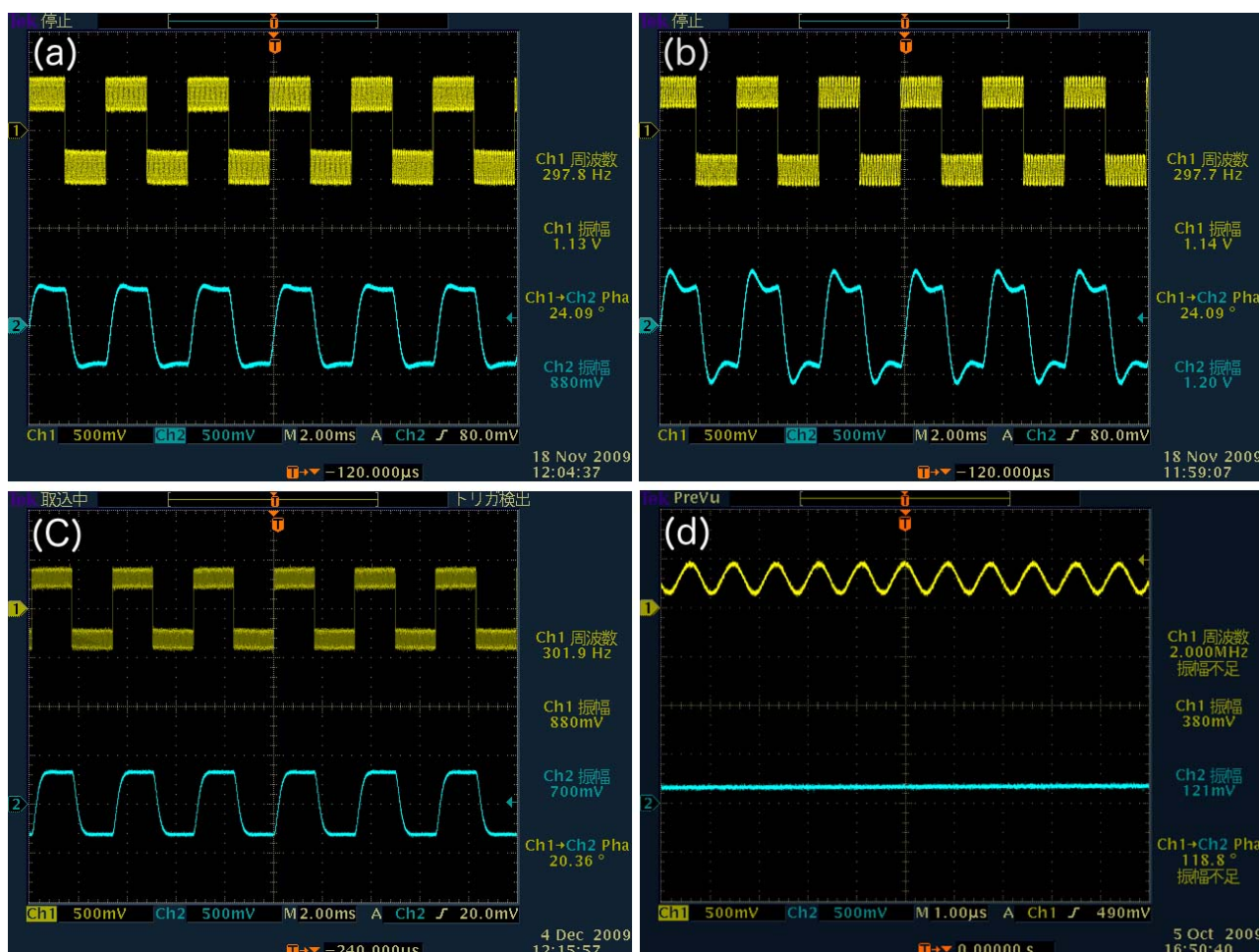


図4. 各フィルタの矩形波処理. 高周波ノイズ(2MHz 正弦波)を含む300Hzの矩形波(黄色)を入力した際の出力波形(水色). (a)バタワース型LPF、(b)チェビシェフ型(2dB)、(c)ベッセル型、(d)チェビシェフ型、時間(横)軸の拡大. 高周波分は十分に除去されている。

の出力を比較する。図4はバタワース型、チェビシェフ型(2dB)、ベッセル型LPFの入出力波形である。図4(d)に例示したように、どのフィルタも2MHzのノイズ分はよく遮断しているが、バタワース型(a)では出力の矩形波にひずみが出ているのに対して、ベッセル型(c)の出力波形のひずみは小さい。チェビシェフ型(b)ではさらに波形のひずみが大きくなる。ベッセル型がパルス信号の処理に適していることが良くわかる。

3.3 入出力のリニアリティ(直線性)の測定

入出力電圧のリニアリティは通常オペアンプの電源電圧付近まで保たれるはずである。これを確認するための以下の実験を行った。各LPFの遮断周波数は1kHzなので、設計上、入力周波数が約500Hz以下であれば出力信号はほぼ無損失となる。そこで、周波数300Hz、入力電圧0-30Vppの正弦波を各LPFへ入力し、その出力電圧を測定した。例としてチェビシェフ型(1dB)の結果を図5に示す。実線は25Vまでのデータから得た回帰直線である。入力電圧が25V付近までは測定値と非常に良く一致し、入力・出力電圧との間のリニアリティは保たれている事が確認できる。入力電圧が25Vを過ぎるとリニアリティは失われ、30V付近で出力電圧が飽和する。しかし一般にフィルタを利用する際、その入力電圧は10V以下であることから多くの場合、実用上問題になることはない。

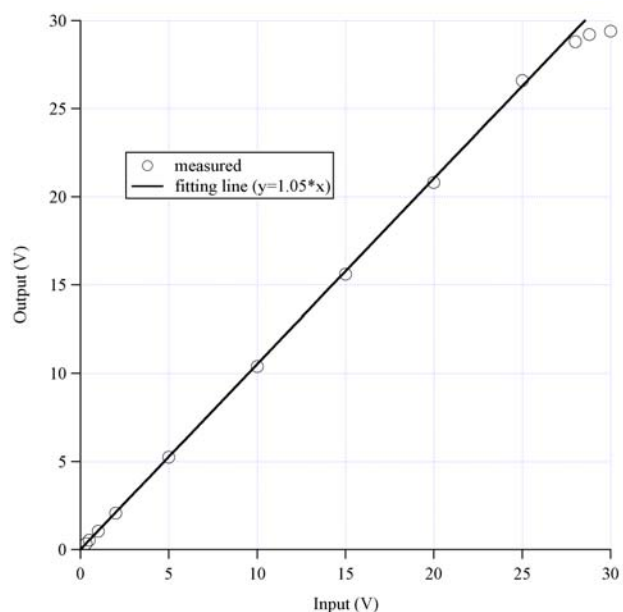


図5. チェビシェフ型(1dB)LPFのリニアリティ. 白丸が測定値、実線は25Vまでのデータを利用して得た回帰直線($y=1.05 \cdot x$)

4 まとめ

特性の異なる3つの型、バタワース型、チェビシェフ型、ベッセル型のLPFについて学習し、設計資料に基づいた設計と製作を行った。作製したLPF回路について、周波数-利得特性・位相特性、入出力リニアリティの検証実験を行い、設計通りの動作をしていることを確認した。

今後もこの回路設計・製作研修を足がかりとしてスキルアップを図っていきたい。

特に本文中に引用等はしていないが、研修中、あるいは研修後に参照した文献を参考文献にまとめた。[3-8]

謝辞

今回、特に児島康介技師には研修後の検証実験において非常に細やかなご指導を頂いた。名古屋大学技術職員研修を企画・運営、講師をして頂いた皆様に、この場を借りて感謝の意を表します。

参考文献

- [1] 島田公明, “アナログ回路応用マニュアル（電子回路ノウハウ）“, 日本放送出版協会, 1986
- [2] 福森勉, “平成 21 年度名古屋大学技術職員研修（計測・制御コース）受講報告 プリント基板加工法の比較検証(エッチング法と基板加工機使用)“, 21 年度第 5 回名古屋大学技術研修会報告集(PKEN-4), 2010
- [3] 平川光則, “これでわかった OP アンプ回路“, オーム社, 1995
- [4] 高橋久・菊池清明, “図解・使えるセンサ回路設計法“, 総合電子出版社, 2003
- [5] 上野太平, “確実に動作する電子回路設計“, CQ 出版, 1982
- [6] 岡村迪夫, “定本 OP アンプ回路の設計“, CQ 出版, 1990
- [7] 見城尚志・高橋久, “実用電子回路設計ガイド（メカトロニクス回路シリーズ）“, 総合電子出版社, 1981
- [8] OKAWA Electric Design フィルタ計算ツール, <http://sim.okawa-denshi.jp/Fkeisan.htm>

PKEN-3

プリント基板加工機を用いたフィルタ回路の設計製作

○丸山益史^{A)}、山崎高幸、川端哲也、濱口佳之、岡本 渉^{B)}

^{A)} 教育・研究技術支援室 計測・制御技術系

^{B)} 工学系技術支援室 装置開発技術系

1. まえがき

平成 21 年度名古屋大学技術職員研修にてプリント基板加工機を使った電子回路基板製作実習を行った。実習では OP アンプを用いたフィルタ回路を設計・製作した。今回はフィルタ回路の設計からフリーソフト PCBE を用いたプリントパターンの作成および加工機を使った基板の製作までを報告する。また、特性の異なるフィルタを複数製作したので、その比較評価についても述べる。

2. フィルタの設計

フィルタとは、必要な周波数帯域の信号を通過させ、それ以外の帯域の信号を減衰させるもので、信号の通過帯域によって以下のように分けられる。

- Low Pass Filter (LPF)：低域通過
- High Pass Filter (HPF)：高域通過
- Band Pass Filter (BPF)：帯域通過
- Band Elimination Filter (BEF)：帯域除去

今回基板加工の実習のために設計したフィルタはアクティブフィルタといわれるもので OP アンプ（演算増幅器）、抵抗、コンデンサで構成されている。

また、フィルタ回路は、バターワース、ベッセル、チェビシェフ等様々な種類がありこれらの種類は設計周波数での減衰度等の特徴によって分かれている。

我々は、通過帯域の平坦さを重視する最もよく使われるバターワースタイプでフィルタを作ることとした。

次に設計周波数、増幅度を決め、BPF については、先鋭度 (Q) を決める必要がある。

設計したフィルタは、増幅度が 1 の LPF (図 1)、HPF (図 2)、増幅度が 1 で Q が 10 の BPF と、増幅度が 10 で Q が 20 の BPF (図 3) の計 4 種類である。周波数はどのフィルタも 2kHz を目標にした。これらの条件・種類から、コンデンサ C と抵抗 R を決定した。

ちなみに Q は《中心周波数÷通過域の幅》で表され Q 値が高い程、通過域の狭いフィルタとなる。通過域の幅は高域側、低域側共に 3dB 減衰された利得の周波数の差である。

今回使用した OP アンプは TL081 (JFET、TEXAS INSTRUMENTS 社製) である。

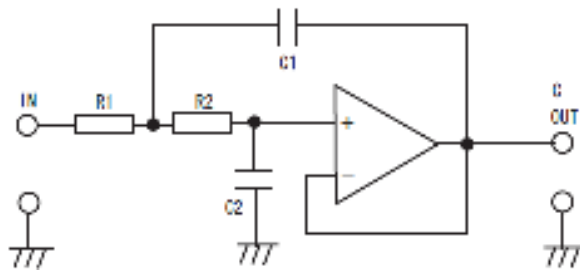


図1 バタワース型 2次 LPF

図1はLPFの回路である。2次(CとRの組み合わせ)で、部品定数は $C1 = 10000\text{pF}$ 、 $C2 = 5000\text{pF}$ 、 $R1 = R2 = 11\text{k}\Omega$ とした。増幅度は1とした。

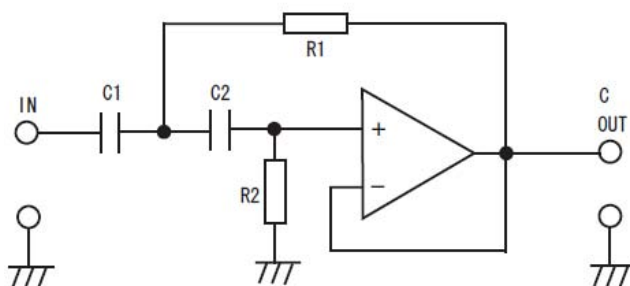


図2 バタワース型 2次 HPF

図2はHPFの回路である。2次(CとRの組み合わせ)で、部品定数は $C1 = C2 = 1000\text{pF}$ 、 $R1 = 56\text{k}\Omega$ 、 $R2 = 120\text{k}\Omega$ とした。増幅度は1とした。

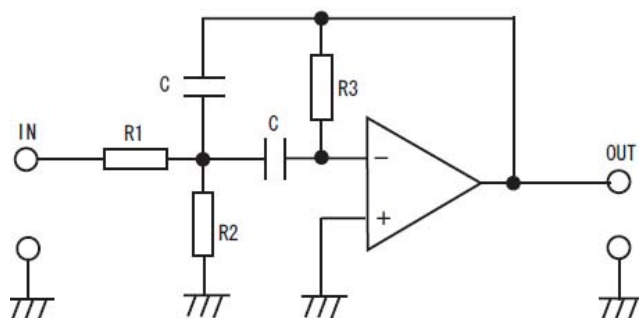


図3 負帰還方式1次 BPF 回路図

図3は負帰還方式の1次BPFの回路である。増幅度1、 $Q=10$ のBPFは $C1 = C2 = 16000\text{pF}$ 、 $R1 = 50\text{k}\Omega$ 、 $R2 = 247\Omega$ 、 $R3 = 100\text{k}\Omega$ とした。また増幅度10、 $Q=20$ のBPFは $C1 = C2 = 10000\text{pF}$ 、 $R1 = 16.5\text{k}\Omega$ 、 $R2 = 220\Omega$ 、 $R3 = 330\text{k}\Omega$ を設計し、増幅度と Q の違いを確認するようにした。

OP アンプは差動増幅回路でありオフセットの調整が欠かせない。オフセット調節は可変抵抗を用いて行った。

3. プリント基板設計

回路の基板設計にPCBEを用いた。PCBEは、Printed Circuit Board Editorの略で、プリント基板配線や穴を描くソフト*2である。PCBEは基板加工機にデータを読み込ませるガーバ・ファイルを出力する。ガーバ・ファイル出力ができる描画ソフトであれば何でもよいが、PCBEは、フリーで利用するため利用した。PCBEは、基板サイズ $1000\text{mm} \times 1000\text{mm}$ まで作成可能で、作画した結果を部品ライブラリに登録することができるという特徴がある。PCBEでは穴あけ、パターン溝、基板外形加工の3レイヤの設計が必要である。

4. 基板加工

プリント基板加工機は切削によりプリント基板の配線を形成することができる。この加工法は従来から行われているエッチング法に比べ、露光や現像といった工程がないため、化学薬品を使わない。またデータを作成後は穴あけ・切削を自動で行うため、手間が省けるといった利点がある。今回設計した回路を片面銅張積層板（FR-4）に加工機を使って加工した。この加工では、穴あけ（0.8mm）、パターン溝（0.3mm）、基板外形加工（2mm）の順番で加工される。出来た基板は図5である。また実際の加工機の使用にあたっては使用ドリルの確認や、ドリルの深さの調整が必要である。



図4 基板加工機 FP-31AT

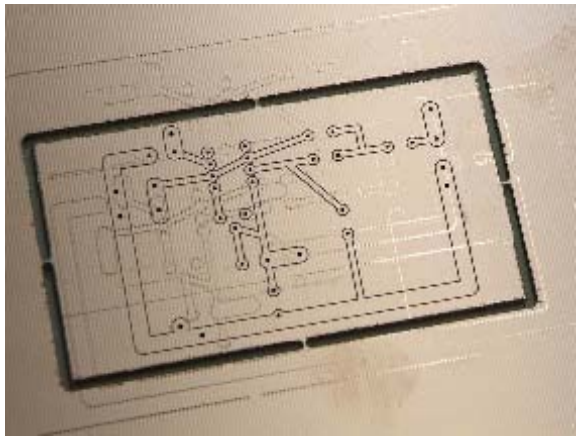


図5 加工後の基板

このプリント基板加工機（図4）はミッツ株式会社製で共同教育研究棟1階工作室にて利用できる。主な仕様は以下の通り。

表1 MIT FPZ-31AT 仕様抜粋*3

Model	FP-31AT（接触方式）
加工範囲(mm)	325×325
制御軸	X, Y, Z（ステッピングモータ）
最小パターン幅（mm）	0.1
最小切削幅（mm）	0.1
分解能 **4	6.35 μ m
最高加工速度 **1	45mm/sec
スピンドル回転数(min ⁻¹)	5000～40000
ドリル径	0.2～3.175
最高ドリル速度（回/min） **2	60（80も可能） **3
最大加工ストローク（mm）	40
工具交換	10本・自動
消費電力	270VA
寸法（mm）	575×700×450（約60kg）

- **1 使用する工具の形状によっては加工時の速度を落とす必要がある
- **2 最大ストロークに対応するドリル回数（移動距離は含まない）
小径のドリルでは速度を落とす必要がある
- **3 80の場合、最大加工ストロークが短くなる（工場にて改造）
- **4 各軸に指令できる最小ステップ値。各軸の位置決め精度を表すものではない。

5. フィルタの特性評価

フィルタ設計では遮断周波数を決め、部品定数を決めている。設計通りの特性が得られているか調べるために、周波数特性を調べた。図 6 にフィルタの特性測定実験をする際のブロックダイアグラムを示す。使用機器は以下の通り。

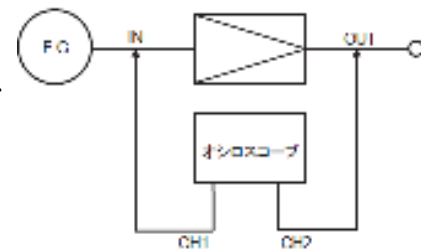


図 6 実験のブロックダイアグラム

オシロスコープ：Tektronix TDS 3014C 100MHz 1.25GS/s

ファンクションジェネレーター：Sandiego.Ca WAVETEX Model 193

測定で得られた利得の周波数特性を以下のグラフに示す（図 7）。

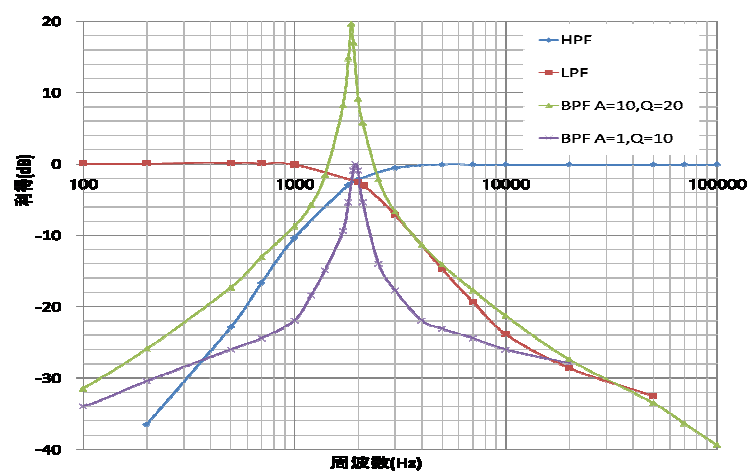


図 7 周波数特性比較

LPF、HPF の周波数特性は、バターワースの特徴である通過帯域が一定で平坦な傾向がでている。BPF については、2kHz 付近に頂点を持ち、高周波側、低周波では減衰している。

- ・ LPF の遮断周波数は 2135Hz となった。
- ・ HPF の遮断周波数は 1810Hz となった。
- ・ BPF（増幅度 1, Q10）の中心周波数は、1943Hz であった。
- ・ BPF（増幅度 10, Q20）の中心周波数は、1858Hz であった。

これらの 2kHz からのずれは設計時のコンデンサ選定の若干のずれを見過ごしたため、BPF（Q20）について再計算の中心周波数の理論値は 1866Hz であった。同様に LPF について再計算の理論値は 2046Hz、HPF については、1941Hz、BPF（増幅度 1, Q1）の再計算の理論値は 1986Hz であった。以下に実測と理論値をまとめた。

表 2 実測と理論値

フィルタ	実測(Hz)	理論値(Hz)
LPF	2135	2046
HPF	1810	1941
BPF A1 Q10	1943	1986
BPF A10 Q20	1858	1866

- ・ Q の設計値は 20 に対して実際の測定の Q は 21 であった。
- ・ Q の設計値は 10 に対して実際の測定の Q は 10 であった。

Q が高いと、中心周波数付近の通過域が狭くなることがグラフ（図 7）からわかる。また増幅度の違いも明らかである。

それぞれの理論設計値からの誤差を求めると、LPF は 4.3% (89Hz)、HPF は 6.7% (-131Hz)、BPF（増幅度 1、Q10）は 2.2% (-43Hz)、BPF（増幅度 10、Q20）は 0.4% (-8Hz) であった。（実測が低周波側へのずれは（－））これらのことから、フィルタの設計において参考資料*1 を基にした設計は十分に可能であると言える。

研修後、BPF（増幅度 10、Q20）のフィルタと同じ部品定数を使って、周波数特性を SPICE シミュレータで行った。中心周波数の結果は、1882Hz となった。実測との差も小さく十分シミュレータも設計に使えることがわかる。なおシミュレーションと実測の誤差は 1.3% (-24Hz) であった。

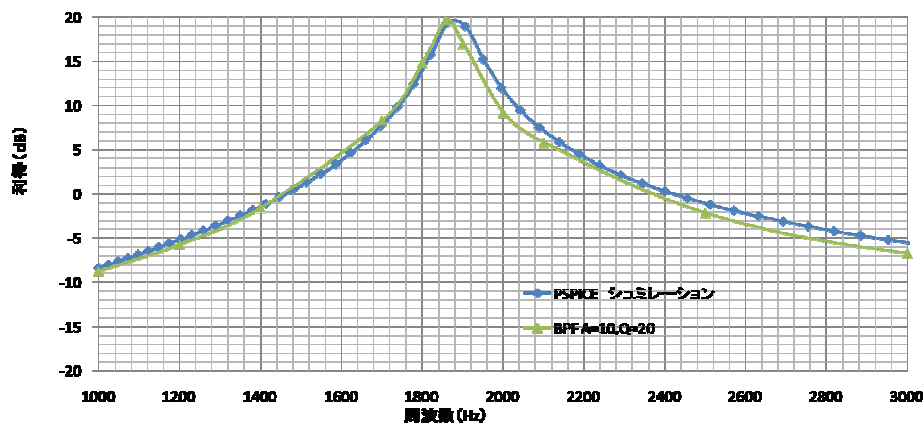


図 7 SPICE シミュレーションと実測との比較

6. まとめ

本研修を通して OP アンプの理解をより深めることができた。フィルタ設計では参考となる情報の正しさを確認でき、回路設計の幅が広がった。また、電子回路基板を製作するうえで基板加工機は非常に有用であることがわかったので、今後の業務でも使用したい。

7. 参考資料

- *1 島田公明 アナログ回路応用マニュアル 日本放送出版協会 1986 年
- *2 能登尚彦 プリントパターン作成ツール PCBE CQ 出版 2007 年
- *3 ミッツ株式会社 HP <http://www.mits.co.jp/>

平成 21 年度名古屋大学技術職員研修（計測・制御コース）の受講による**基板加工機を使った基板加工と比較、他**

福森 勉

工学系技術支援室 装置開発技術系

1. 概要

平成 21 年 8 月 26 日～28 日に開催された平成 21 年度名古屋大学技術職員研修（計測・制御コース）を受講し、計測・制御に必要な演算増幅回路の学習とプリント基板加工機を使った電子回路基板製作法を習得した。報告者は工学研究科創造工学センターのものづくり講座や高大連携講座（電子回路コース）の企画・運用を業務として行っており、その際に電子回路製作用のプリント基板を数多く作製する必要がある。これまでは、感光基板を利用してエッチングにより化学的に回路を作り、ボール盤で部品取付け用の穴を開けていた。この加工法の問題点として、腐食液の温度や濃度、腐食時間によって、均一な配線用ラインを作れないことや、穴加工における穴位置のずれによる歩留まりの悪さがある。本稿では、受講により習得したプリント基板加工機利用技術（回路設計、CAD（PCBE）・CAM、CNC加工機利用技術など）により、プリント基板を作製することで、これらの問題を解決できるか比較検証したので報告する。併せて、グループで学習した演算増幅器によるアクティブローパスフィルタ回路の製作についても報告する。

2. 基板加工機による加工実習

図 1 は、基板加工機による加工実習の手順を示している。PCBE（CAD）により回路図を作成し、ガーバーデータに変換後、Design Pro(CAM)に取り込みピンホール、外形、溝などの加工用のデータとして編集し、基板加工機（MITS FPZ31AT）にて加工する。実習ではアクティブローパスフィルタの回路設計し加工を行った。

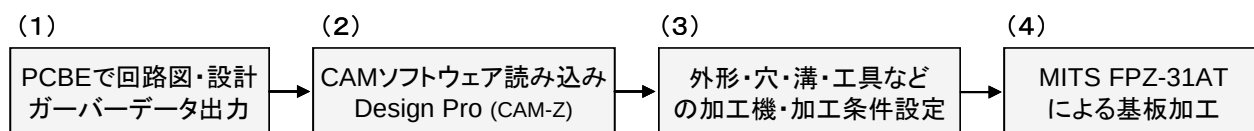


図 1. 基板加工機を使った加工手順

2.1 PCBE とは

本実習で習得した PCBE は、高戸谷 隆さんという方が作成したプリントパターン設計用のソフトウェアで、フリーソフトとして提供されているものである。特徴として、習得が簡単なこと、レイヤの指定、部品ライブラリの利用・登録、グラウンドなどのベタパターン作図、ガーバーデータの入出力などの多くの点があり、多方面で活用ができる。（ガーバーデータとは、プリント基板 CAD データの規格化データファイル形式）

2.2 アクティブローパスフィルタ（LPF）の設計・製作

LPFは、周波数帯域が比較的低域にある場合、高周波数域のノイズを遮断するフィルタ回路である。遮断したい周波数の値を「遮断周波数（カットオフ）」とよび、通過する側を「通過域」、遮断する側周波数を「減衰域」という。なかでもオペアンプなどの増幅装置を利用するタイプをアクティブローパスフィルタと呼んでいる。LPFでは、遮断周波数でゲインを急峻に低下させたいが現実的には難しいため、用途により、バターワース、ベッセル、チェビシェフなどの特性の違うフィルタを選ぶことになる。オペアンプによるフィルタ回

路では、C（コンデンサ）とR（抵抗）の組み合わせの数は無数にあり、この組み合わせ数を次数とよび、次数が大きくなる程、減衰率は急峻になる。（各LPFの特性の違いを比較する実験結果については堀川らのグループ発表^{〔1〕}を参照のこと）図2に、実習で製作した、遮断周波数：1kHz、バターワース、次数2、利得1のLPFの回路図およびPCBEによるCAD図を示す。

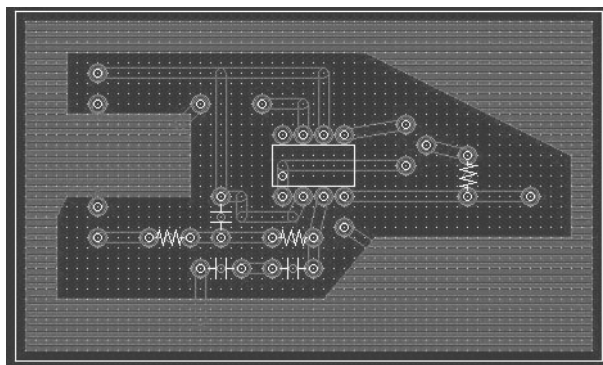
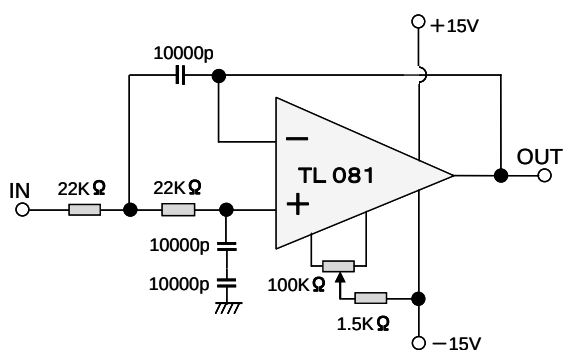


図2．LPF 回路図およびPCBEによるCAD図

3．板加工機とエッチングによる加工の比較結果

創造工学センターの高校生向け高大連携行事で利用するテルミン（電子楽器）用の基板を製作して比較をおこなった。図3は、左がエッチングで製作したもの、右が加工機で製作したものである。

上手くエッチング加工できたものと比較しているため、歩留まりの悪さはここでは比較できない。基板加工機では、溝で囲まれた島残し部が多くできており、エッチングの方が大きな面積をベタ取りすることに適していることがわかる。基板加工機による作業時間は、下図の基板1枚を製作するのに約30分要する。大量に製作するのであればエッチングの方が適している。ただし、ピンホール加工まで含めて考えると基板加工機の方が、穴加工の忘れや穴位置のズレがなく正確に行うことができる利点がある。

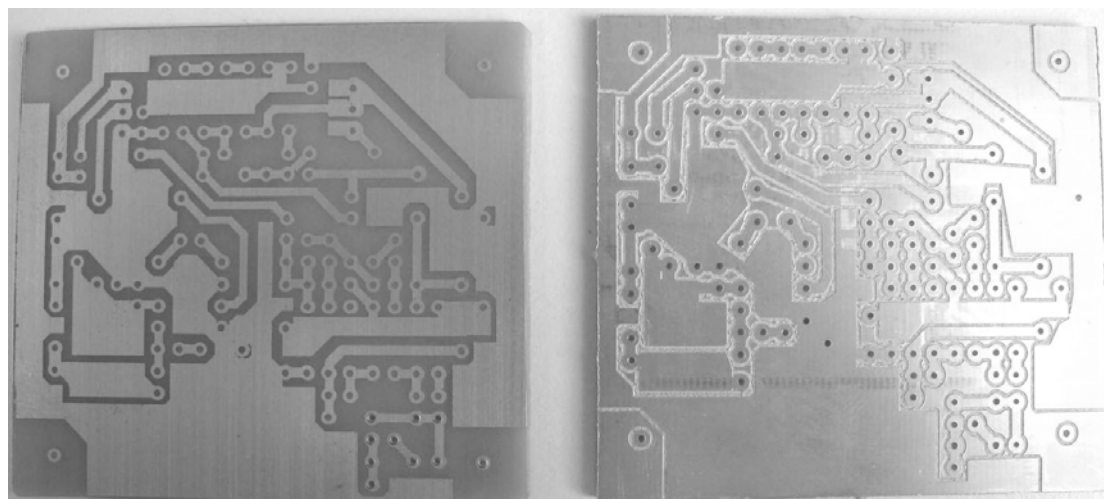


図3．左エッチングによるもの右基板加工機によるもの

謝辞

研修実施に際して回路設計、CAD・CAM 実習指導および装置の提供をしていただいた、教育・研究技術支援室計測・制御技術系（太陽地球環境研究所）の加藤泰男主席技師、児島康介技師に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 〔1〕 堀川信一郎，他 “ローパスフィルタ回路の設計・製作平成21年度名古屋大学技術職員研修（計測・制御コース）を受講して”，平成21年度第5回名古屋大学研修報告書（PKEN-2）

振動台実験装置による家具・ボンベ台等の耐震性の検証

○平埴義正、大久保興平、長瀧宏弥

工学系技術支援室 環境安全技術系

はじめに

居室及び実験室の地震対策については、人の安全や財産の保全上きわめて重要である。当工学研究科内においては、労働安全衛生法に基づき、衛生管理者による巡視を定期的に行っており、地震対策についても重要な一つの項目として位置付けている。しかしながら、実際に居室や実験室に設置されている家具や什器・ボンベ・装置・計測機器類等の地震対策措置の基準については曖昧なことが多く、またこれらの物の使い易さと耐震性を兼ね備えた合理的な方法もあり存在しないため、的確な指摘ができない状況にある。したがって、このような状況下で東海地震や東南海地震のような大地震が襲った場合は、人命にも関わる甚大な被害を招くことも予想される。

1 目的

実際に長周期振動台実験装置（以下、装置）を用い、巡視で問題となることの多いロッカーやボンベ、実験用計測機器の耐震措置の実験的な検証が主であるが、この結果を巡視基準の作成へ反映させ、改善の一助とするとともに、実験結果を動画等で視覚化し、広く研究室等に啓発することも兼ねている。

2 実験方法

実験室の床を模擬するため、装置の実験台の床に厚さ 48mm のベニヤ板を取付け、その上に P タイルを張り、そこにロッカー（スチール製：1 人用、高さ 180cm）やボンベ台（7m³：1 本用）の試験体を設置した。また角材とベニヤ板から成る壁を実験台の手摺りに取り付け、そこに柵（スチール化粧アングル製）を固定した。実験に伴う危険を抑えるため、装置の実験台には緩衝材を張るなどの措置を行い、装置には推定東南海地震波を入力し、入力レベルを抑えた実験から開始した。

図 1～図 3 にこれらの写真を示す。



図 1. 実験台に固定したスチール柵



図 2. 実験台に固定したボンベとボンベ台

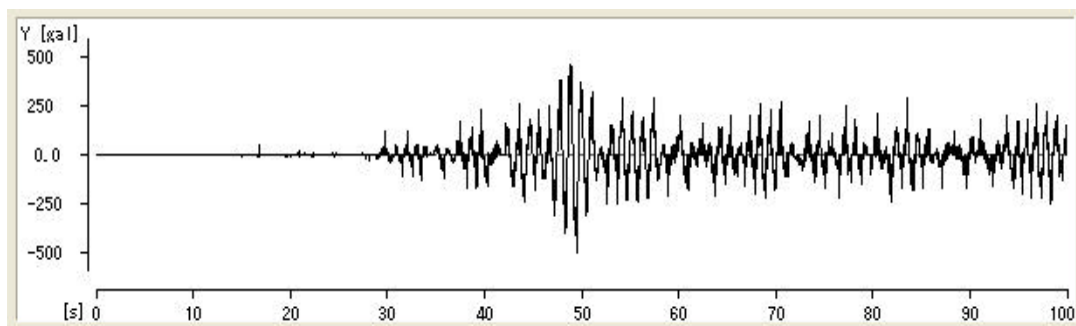


図 3. 実験装置に入力した推定東南海地震波

3 実験の結果

3.1 これまでの到達点

昨年度行った実験では、次の事項が問題となった。

- ① 地震波の入力を抑え、それが半分にも満たないレベルで、ボンベ架台を固定したネジ（6mm—4本）が床を模擬したベニヤ板から抜けてしまった。この原因は、ネジのナット（鬼目ナットを使用）の選択を誤ったため、ネジの強度が引抜方向に対して弱かったためである。
- ② 地震波の入力が①のレベルより大きくなると、ボンベ架台が転倒する以前にボンベ固定用の鎖（直径 4mm：予想破断強度約 700 kg）が金具止め（フック式）から外れ、ボンベが転倒してしまう場合があった。これは鎖の弛みが主な原因である。
- ③ 地震計の使用方法にも問題があった。これはボンベの転倒時に衝撃が発生し、それを地震計が拾い、実際に装置に与えた地震波の値よりも大きな値を示したためである。

3.2 本年度の到達点

昨年度の問題事項を基に、本年度は次の試験体の耐震性実験を行い一定の結果を得た。実験は震度 4.5～震度 7 の範囲で行った。なお、地震計の問題については、装置の実験台に地震計のみを設置し、試験体は設置しない状態のデーター（バックグランドデーター）を予め取っておくことで解決した。

(1) ボンベ台及びロッカーの耐震性

床に固定していない場合は、ロッカーで震度 5 弱、ボンベ台は 5.8 で転倒した。床に固定した場合は、ボンベ台の場合、震度 6.2 でも倒れなかったが、ボンベを固定している鎖がボンベ台から外れそうになった。なお、ボンベ台の固定には 4 本の本ネジ（鉄—亜鉛メッキ皿タッピングネジ：外径 4mm, 谷径 3mm, 長さ 40mm）を使用した。後日、本ネジの引抜強度を簡単な実験によって計ったところ、1 本あたり 394 kg の値を得た。

(2) 棚に収納した書籍類の耐震性

棚（幅 90cm, 高さ 210cm, 奥行 30cm）は装置が持つ最大性能にも耐えうるよう、実験台の床及び壁に L 字型金具や針金・ネジによって固定した。試験体の書籍類は、その両側面にブックエンドを配し、棚の中段に並べた。

実験結果は、震度 6 では書籍類が数 cm 動いたが、震度 6.6 になると、急激にその動きが増し、瞬時に倒れ、棚から落下することが分かった。また、棚に落下防止用のベルトを取り付けた実験では、倒れはするが、この震度でも容易に棚から落下することはなかった。

(3) 粘着性耐震マットの耐震性

試験体として小型電源（重量 8.5kg）及び試薬びん（500mL びん，ガロンびん）を選んだ。

a. 小型電源の場合

先述した棚の下段に本試験体を置いて実験を行った。結果として、本試験体の下に耐震マットを敷かない場合は、震度 5.4 から動き出し、震度 6.1 で棚から落下した。耐震マットを敷いた場合は、震度 7 でも落下する気配はなかった。なお、耐震マットは 5cm 程度の正方形に切断し、十数回使用したものを試験体底部の四隅に貼り付けた。

b. 試薬びんの場合

実験台の床面には木製机の天板を模擬したベニヤ板を敷いた。500mL 試薬びんについては底面の広い試薬びん立て（特注品）に入れて、またガロンびんについてはベニヤ板上に直接立てて置いた。また、いずれのびんも内容量（水）の相違による実験を行った。

試薬びんの底部に耐震マットを取り付けない場合は、500mL 試薬びんの場合、震度 5.9 でベニヤ板上を滑り、ガロンびんの場合は耐震 6.1 で滑り出した。耐震マットを取り付けた場合は、震度 6.4 でも滑る気配はなかった。ただし 500mL 試薬びんの場合は、その底部に耐震マットを取り付けた状態であっても、震度 6.8 で前触れもなく転倒し、かなりの速度で実験台の緩衝材に衝突し転げ回った。なお、びんの内容量の違いによる震度の差については、ほとんどなかった。

4 まとめ

昨年度及び本年度の実験から少なくとも次の事項が明らかとなった。

- ① 震度 5 弱：1 人用ロッカーなど、高さがあり不安定で固定されていない物は転倒する。
- ② 震度 5～6 弱：比較的安定していると見える物でも、耐震処置がされていない場合や処置が弱い場合は転倒する。また物品の移動（動く）による落下等の危険性が高まる。
- ③ 震度 6～7：物品の急激な移動（動き）により、耐震処置がされていない場合や処置が弱い場合は確実に転倒・落下する。

近年発生が懸念されている東南海地震の場合は、名古屋市の場合で予想震度が 6 弱～6 強（場所によっては 7）と言われている。今回行った実験は、あくまでも建物の 1 階に相当する揺れを与えた場合の実験である。したがって、これ以上の階の場合は、一般的にそれ以上の揺れとなる。

工学研究科内では、ほぼ 2 ヶ月に 1 回の頻度で各実験室等の巡視を行っているが、その際にボンベ台が床や壁等に固定されていないケース、また試薬びんに入れられた有機溶剤等が実験机上にそのまま置かれているケースを見かける。このような状況の下、大地震が発生し、不運にも実験室に閉じ込められ、これらの物品が転倒した際の衝撃で火災等を伴った場合はどうなるであろうか …。

5 謝 辞

今回の実験を行うにあたり、振動台実験装置及び同実験装置室の使用をご了承いただきました福和伸夫 教授、飛田潤 准教授には、ここに心から感謝の意を表します。

○谷口泰広^{A)}、田上奈緒^{A)}、田島尚徳^{A)}、加藤俊之^{A)}、池田将典^{A)}、箕浦昌之^{A)}

^{A)} 共通基盤技術支援室 情報通信技術系

概要

共通基盤技術支援室情報通信技術系では、2008 年 7 月から 12 月まで箕浦課長を講師とし、初心者向けの Perl 入門講座が開講された。その成果物として「全学技術センター会議室等予約システム」が構築・運用された。本年度は講座の応用編として、受講者各自が業務に直結するプログラムを作成した。これにより Perl プログラミング技術の向上が図られた。

「電気錠管理システムの遠隔操作プログラム」は Web ブラウザ上で電気錠管理システムを操作し、状態を閲覧できるものである。このプログラムの開発により、サテライトラボ閉鎖時の来訪者の対応として遠隔操作で電気錠を解錠できるようになり、業務の効率が上がった。

本稿では開発したプログラムとサーバ環境の構築について報告する。

1 はじめに

共通基盤技術支援室情報通信技術系では「Perl を使用した Web プログラミングへの挑戦」と題し、Perl 初心者向けの講座が開講された。講師は箕浦課長が担当し、受講者数は 6 名、会場は全学技術センター会議室で 2008 年 7 月から 12 月まで開講された。講座は講義のあとに演習を行うというスタイルで行われた。講義では Perl の特徴や文法を学び、演習では実際にパソコンを使い、開発環境を整えてプログラミングを行った。講座期間の後半では、Web プログラミングの実践として、全学技術センター会議室等予約システムの構築を行った[1]。そして本年度は講師の提案により、受講者各自が業務に直結した Web プログラムの作成を行うことになった。これにより Perl に関する知識の向上と業務効率の向上の両立を目指した。

情報文化学部サテライトラボ(SIS ラボ)では、学生証 IC カード化に伴い「電気錠管理システム」を運用してきた。電気錠管理システムはオムロン社製の入退室管理システムであり[2]、カードゲートコントローラに接続されたパソコンには管理ソフト Gate Assistant 2 がインストールされている。主な機能として

- スケジュールの設定
- カードゲート利用者の登録
- 電気錠の施錠と解錠
- 扉の施錠状態の表示

などがある。これまでの運用では主にスケジュール設定のために使用し、電気錠を解錠する機能は使用してこなかった。居室からサーバ室に移動してパソコンを起動しアプリケーションを操作するより、30 メートル離れた扉に移動してサムターンを回したほうが早いのである。そこで今回、サーバ室のパソコンを LAN で接続し、居室のパソコンより Gate Assistant 2 アプリケーションソフトを遠隔操作し、施錠と解錠を行うシステムを開発した。

2 システムの概要

2.1 ハードウェア構成

本システムのハードウェア構成を図 1 に示す。

既存のシステムではカードゲートコントローラに非接触カードリーダー・電気錠・パソコンだけが接続されていた。そしてパソコン上で Gate Assistant 2 アプリケーションを操作することにより電気錠の管理が行われていた。

今回のシステムではカードゲートコントローラに接続されたパソコンを Web サーバ化した。そしてセキュリティを確保するために、部屋の外から接続できないプライベートネットワークに接続した。さらに非接触カードリーダーの近くは無線ドアホン送信機を取り付け、自席に無線ドアホン受信機を設置した。

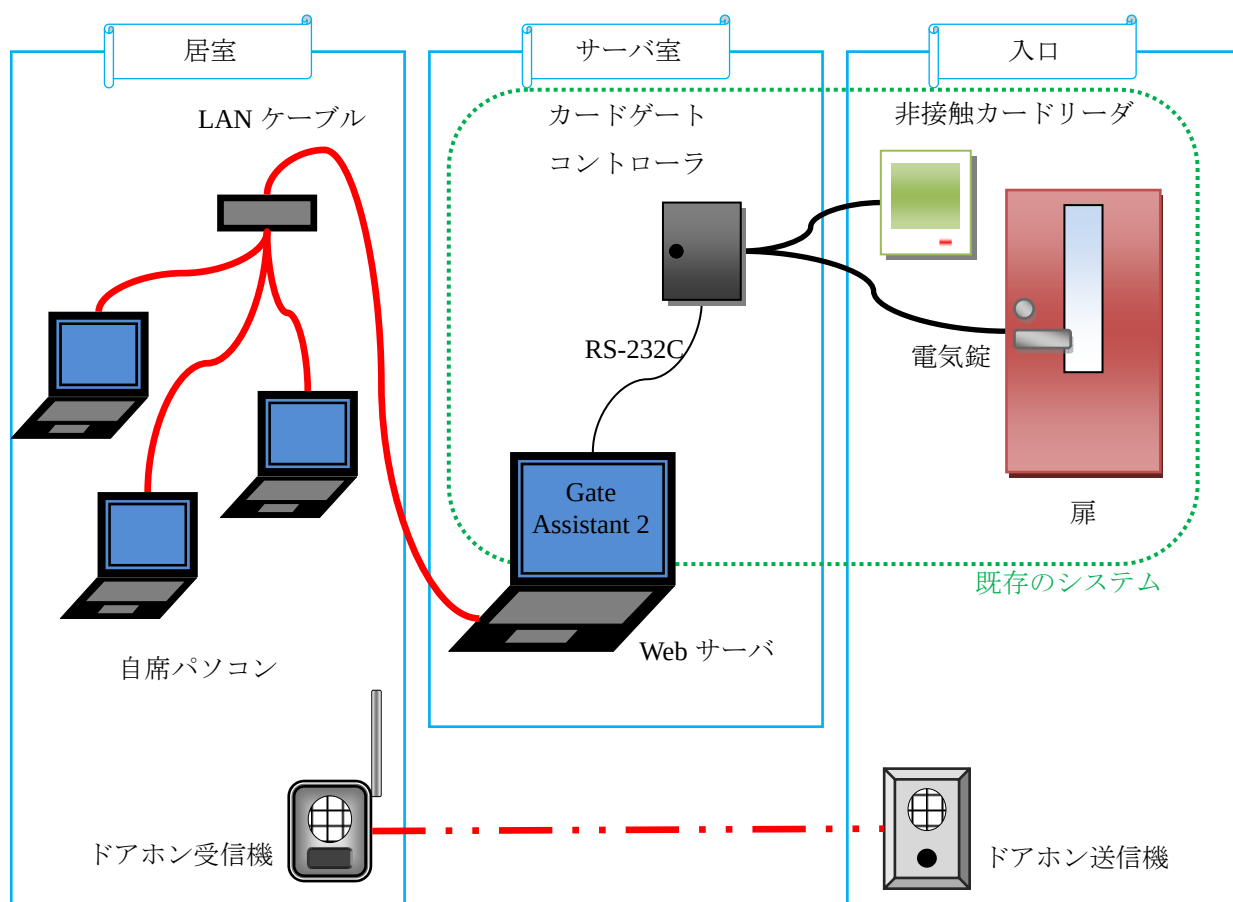


図1. ハードウェア構成

2.2 ソフトウェア構成

「電気錠管理システムの遠隔操作プログラム」の構築にあたり、以下の構成でインストール・設定を行った。

- ノートパソコン CPU: Pentium III、メモリ：256MB
- OS: Windows XP Professional
- Perl インタプリタ: ActivePerl 5.10
- Web サーバ: Apache 2.2

これまで年に数回行っていたスケジュールの設定は操作が複雑であり素早い対応が必要ないため、リモートデスクトップソフト UltraVNC で操作することにした。電気錠の施錠と解錠は素早い対応が必要のため Perl プログラムで操作することにした。

Perl でウインドウズ操作を実現するにあたり、CPAN モジュールの中から「Win32::GuiTest」を利用することにした。デスクトップ対話モジュール「Win32::GuiTest」は Windows 上でのキー操作・マウス操作・画面キャプチャなどのメソッドを提供する[3]。このモジュールを読み込むことにより UWCS のような Windows 操作の自動化が可能になる[4]。本システムではクリック操作と画面キャプチャのためにこのモジュールを使用した。これにより 5 回の複雑なクリック操作を一度の http 通信で行うことが可能になった。

本システムの処理の流れを図 2 に示す。

1. 管理者が Web ブラウザにおいて操作内容を選択し、送信ボタンを押下。
2. Web サーバが CGI プログラムを起動。
3. CGI プログラムが Gate Assistant 2 の「扉を遠隔操作する」ボタンを押下。(計 5 回のクリック動作)
4. CGI プログラムが Gate Assistant 2 の扉状態の表示をキャプチャ。
5. CGI プログラムが HTML タグを生成して返す。
6. Web ブラウザに結果出力。

以上の流れにより、Web ブラウザで Gate Assistant 2 アプリケーションを介し、電気錠の遠隔操作を行うことが可能になった。Web ブラウザで選択できる操作は

- 扉状態更新(電気錠操作はせず、現在の扉の状態を出力する。)
- 連続解錠(電気錠を解錠し、誰でも入れるようにする。)
- 施錠(電気錠を施錠し、IC カードキーを持っている人だけ入室できるようにする。)
- 1 回解錠(電気錠を一回だけ解錠し、扉を開けて入った後は元の状態になる。)
- 警戒設定(電気錠を施錠し、誰も入れない警戒モードを設定する。)
- 警戒解除(警戒モードを解除する。)

の 6 種類である。それ以外の操作(スケジュール設定等)は Web サーバパソコンに UltraVNC サーバもインストールしたので、そちらにアクセスして作業を行うことにした。

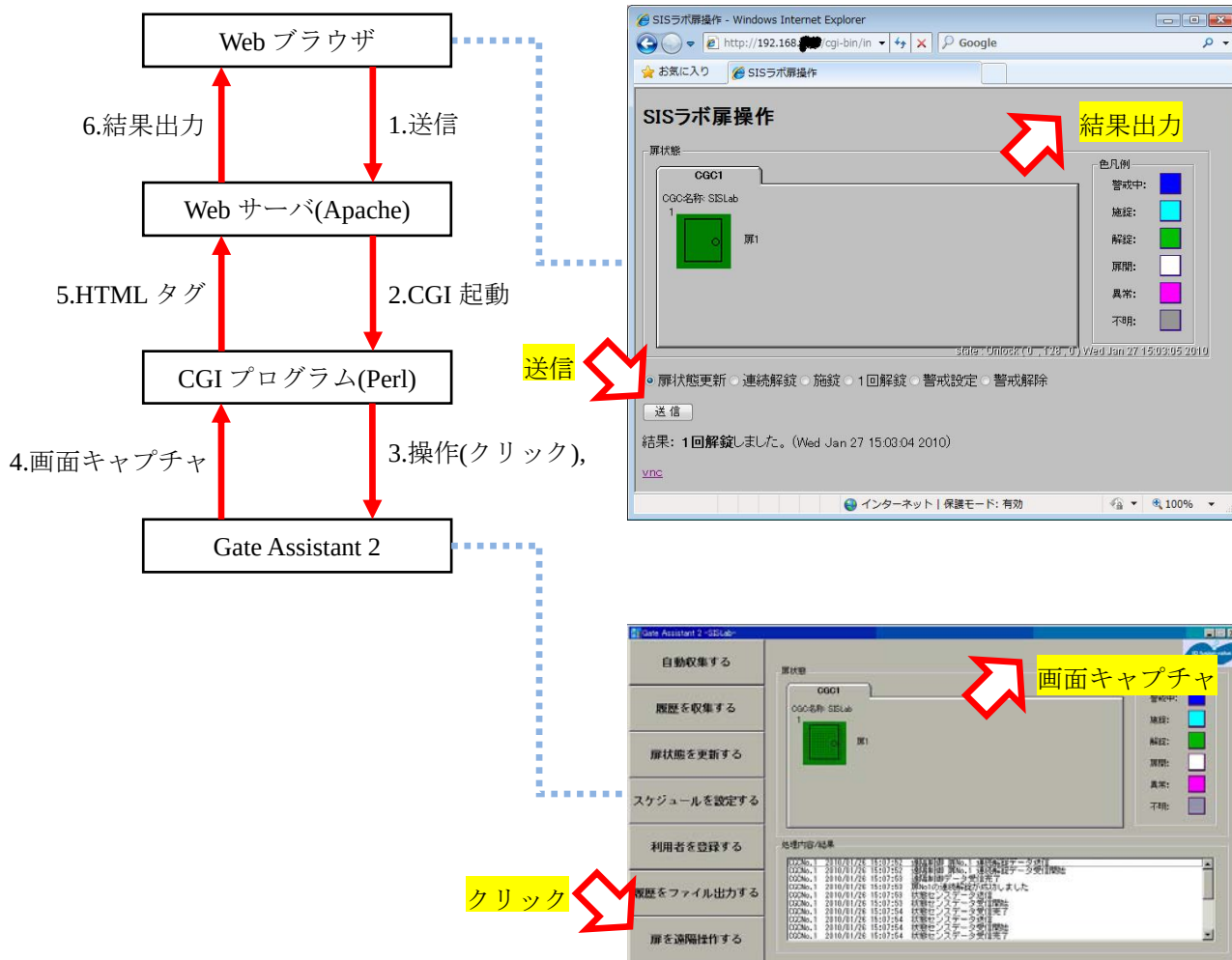


図2. 処理の流れ

3 まとめ

本システムの構築・運用により、すべての電気錠管理を自席のパソコンで行うことができ、業務の効率化を図ることができた。さらに Gate Assistant 2 アプリケーションの操作に不慣れなスタッフでも簡単に電気錠を操作することが可能になった。またシステム構築を通して本来の目的である Perl や Web プログラミングの知識を得ることができた。

2年後には学部生全員に IC 学生証が行き渡るため、SIS ラボの常時施錠と学生による IC カード解錠が検討されている。今後の課題として、IC カードを持たない学生のための運用を考えていきたい。

参考文献

- [1] 田上奈緒, 箕浦昌之, 木村時政, 木村和子, 加藤俊之, 谷口泰広, 田島尚徳, “全学技術センター会議室等予約システムの稼働”, 第 4 回名古屋大学技術研修会報告, PC-02, 2009.
- [2] “CSU-PC006 Gate Assistant 2 アプリケーションソフト 仕様・取扱説明書”, オムロン株式会社, 2007.
- [3] Dmitry Karasik, “Win32::GuiTest”, <http://search.cpan.org/dist/Win32-GuiTest/>.
- [4] 安藤八郎, “Windows 操作の自動化について”, 第 2 回名古屋大学技術研修会報告集, pp.9-14, 2006.

サブミッションポートによるメールサーバの運用について

佐々木 康俊

工学系技術支援室 情報通信技術系

概要

Postfix メールサーバソフトでサブミッションポート(submission port)を利用したメールサーバの運用について報告する.

現在, 名古屋大学では, 学内のメールサーバに対しては「迷惑メール」の不正中継を防止するため, 学外からのメールは原則として, 「メール配送サーバ」を経由して受信し, 25 番ポートには学外からの中継が制限されている.

今回は不正中継が少なくなることが期待されるサブミッションポートでのメールサーバの運用を試みたので, その導入や設定方法について報告する.

今回のサーバは OS は Linux, メールサーバソフトは Postfix を用いた. また, サブミッションポートを設定するため, 例えばメールスプールを mbox 形式から Maildir 形式に変更したので, その周辺的な導入や設定方法についても報告する.

1 はじめに

NICE では, 「迷惑メール」の不正中継を防止するため, 2000 年 9 月 4 日以降, 学外からのメールは原則として, 「メール配送サーバ」を経由して受信するようになった. NICE のファイアウォールでは指定されたメールサーバ以外は学外からのメール受信 (smtp 接続) を遮断している. しかし, このファイアウォールの smtp 通過登録の申請を行い, 許可されれば, 学外からの smtp 接続を直接受けることは可能にはなる.

今回は smtp の通過申請をする方法ではなく, 不正中継が少なくなることが期待されるサブミッションポートでのメールサーバの運用を試みた.

2 サブミッションポートで運用するために必要なメールサーバ環境設定

サブミッションポートによるメールサーバを運用するために必要なアプリケーションをインストール並びに設定をする. 以下に個々のアプリケーションを紹介していく.

2.1 メールサーバの停止

メールサーバの電子メールを保管しておく spool ディレクトリを変換する作業を行うので, これが終わるまでの間は, 新しい電子メールをこのサーバで受けとらないようにするため, 電子メールサービスを停止する.

2.2 spool ディレクトリの変更 mbox から Maildir 形式への変更

今回設定したメールサーバはこのサーバ宛に送信された電子メールを蓄積しておくメールスプールディレクトリは各ユーザを全て一括して同一ディレクトリに保存する mbox 形式であったため, 各ユーザ毎にそれぞれのホームディレクトリに蓄積する Maildir 形式に変更した. それは「perl-TimeDate」という日時情報を解析する perl スクリプトと spool ディレクトリを変換する perl スクリプト「mb2md」を各々ダウンロード

ド、インストールする。変換方法は各ユーザ毎に各ユーザの権限で「mb2md -m」コマンドを入力すると各ユーザの以前のメールが/Maildir ディレクトリー以下に maildir 形式に保管される。

2.3 新規ユーザ追加時のための設定変更

Linux では新規ユーザを追加するときに、/etc/skel 以下のディレクトリーと同じものをユーザのホームディレクトリーに作成する。メールサーバに新規ユーザを追加した時にも、maildir 形式に対応させるために、/etc/skel ディレクトリーの下に Maildir ディレクトリーを新たに追加した。

2.4 SMTP-AUTH(メール送信時のユーザ認証)の設定

メールサーバに電子メールの送信を依頼してきたユーザに対してパスワード認証を要求し、認証できた場合はメールを転送することを可能にするために SMTP-AUTH の設定を行う。Postfix で SMTP-AUTH を利用するために cyrus-sasl パッケージをインストールする。

2.5 メールサーバの設定変更

Postfix の main.cf ファイルを編集して、SASL 認証等メールサーバの設定を変更する。

2.6 pop3/imap サーバの設定変更

dovecot の設定ファイル dovecot.conf ファイルを編集して、同様に pop3/imap サーバの設定を変更する。

2.7 Postfix SMTP サーバで SASL 認証をテストする

メールサーバに接続し、SASL 認証が動作することを確認する。

2.8 ユーザ毎に SASL 認証パスワードを作成する

SASL 認証のための各ユーザのパスワードを saslpasswd2 コマンドで作成する。

この登録されたユーザは sasldblistusers2 コマンドで確認できる。

```
sasldblistusers2
```

```
smtpsender@ yyyy.zzzz.nanchate-u.ac.jp: userPassword
```

2.9 各ユーザの電子メール環境の設定変更

メールサーバのサブミッションポートを利用するため、各ユーザが利用しているパソコンの電子メールソフトの送信メールのポート番号をサブミッションポートの番号に変更する。

3 まとめ

SMTP 転送が制限されていても、メールサーバでサブミッションポートを利用して送信することにより電子メールの送信が可能になった。しかし、SMTP 送信との違いは、各ユーザの認証をパスワードで行っていることです。このパスワードが第三者にも利用されるようになれば不正中継を防ぐことは出来ません。この点は注意して運用する必要がある。

参考文献

- [1] 名古屋大学情報連携統轄本部, 情報セキュリティ, ユーザ向け情報, 管理者向け情報, メールサーバ設置に関する注意(<http://www.icts.nagoya-u.ac.jp/>).
- [2] 名古屋大学 学内専用, NICE に関する情報, メールサーバ登録の手引き, SPAM メール対策の概要, メールサーバの登録手続き(<http://www.nagoya-u.ac.jp/extra/internal/NICE/smtpgw.html>).
- [3] Vine Linux 4 で SMTP-AUTH や IMAP を利用しよう, spool ディレクトリの変換,

(<http://tsuttayo.jp/postfix/imap/>).

- [4] asterisk, Service/Postfix, mb2md で変換(<http://wiki.mmj.jp/index.php?Service%2FPostfix#ke8cf8dc>).
- [5] 鶴長 鎮一, et al, “今どき Postfix 指南”, Software Design, 2008 年 8 月, P20-29.
- [6] 一戸 英男, “図解でわかる Linux サーバ構築・設定のすべて”, 日本実業出版社, 2005 年 4 月.
- [7] /etc/skel で ユーザーディレクトリの雛型設定, Total Web Debelopment ARTSNET, (<http://www.artsnet.jp/archives/482>).
- [8] Postfix SASL how, Postfix SMTP サーバで SASL 認証をテストする, (http://www.postfix-jp.info/trans-2.3/jhtml/SASL_README.html).

程 晶磊^{A)} 藤田秋一^{B)} 大崎雄樹^{B)} 鈴木倫毅^{B)} 篠原友樹^{B)} 藤本豊士^{B)}^{A)}医学系技術支援室 生物・生体技術系^{B)}名古屋大学大学院医学系研究科機能構築医学専攻分子細胞学分野

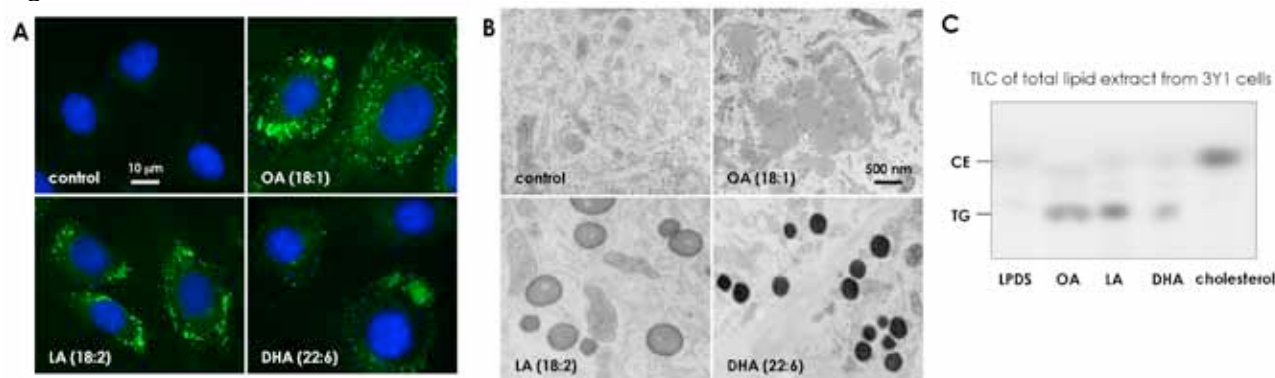
要旨：

脂肪滴はほとんど細胞に見られ、細胞の生存環境に応じて形成、成長、退縮する動的なオルガネラである。脂肪滴のコアとなるトリグリセリド、コレステロールエステルなどは小胞体膜で合成されるが、脂肪滴の形成、成長のメカニズムは明らかでない。我々は脂肪滴の成長過程を可視化し、定量的に検索するための新たな方法を開発し、おもに線維芽細胞での脂肪滴成長メカニズムについて検討した。

この方法は脂肪酸の不飽和度に応じて、トリグリセリドへの四酸化オスミウムの結合性が変化し、その結果、電顕で観察される脂肪滴の電子密度が変わることを利用する。あらかじめ細胞にオレイン酸（OA；炭素数18、不飽和結合1個）あるいはドコサヘキサエン酸（DHA；炭素数22、不飽和結合6個）を取りこませると、それぞれ電子密度の低い脂肪滴と高い脂肪滴ができる。その後、最初とは別の脂肪酸を細胞に与えると、脂肪滴の電子密度は経時的に変化する。グリッドと細胞外空間の2点を標準点とすることにより、個々の脂肪滴の電子密度を数値化し、定量的に比較することができる。

この方法でラット 3Y1 線維芽細胞を検索すると、OA→DHAという順番に投与した場合の脂肪滴はほぼ一様に低電子密度から高電子密度へという変化を示し、DHAだけでできる高電子密度の脂肪滴が独立に観察されることはなかった。DHA→OAという順番に投与した場合も同様であり、またノコダゾール処理で微小管を脱重合させ、脂肪滴の運動を極少にした細胞でも電子密度変化の一様性は保たれた。これらの結果は、線維芽細胞の脂肪滴の成長が、個々の脂肪滴局所におけるトリグリセリド産生・供給によって起こると考えると説明できる。一方、3T3-L1 分化脂肪細胞においては、脂肪滴の電子密度の変化は一様に起こらず、直径によって異なっていた。このことは線維芽細胞と脂肪細胞では脂肪滴の成長過程に差があることを示唆する。

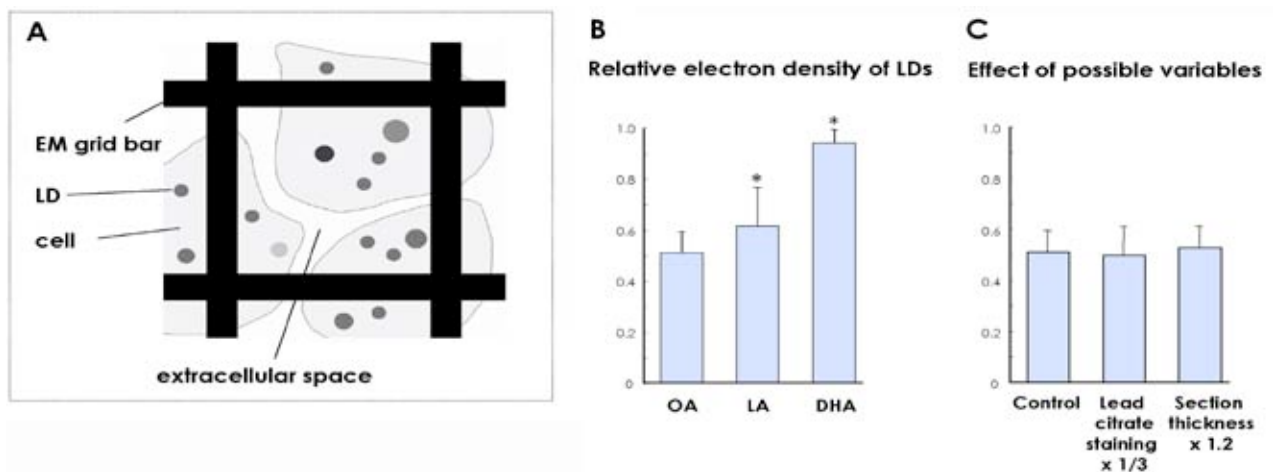
Fig. 1. De novo formation of LDs in 3Y1 cells



3Y1 fibroblasts were cultured in 2% LPDS for 2 d to deplete LDs, and then treated with 100 μ M OA, LA, or DHA for 12 h.

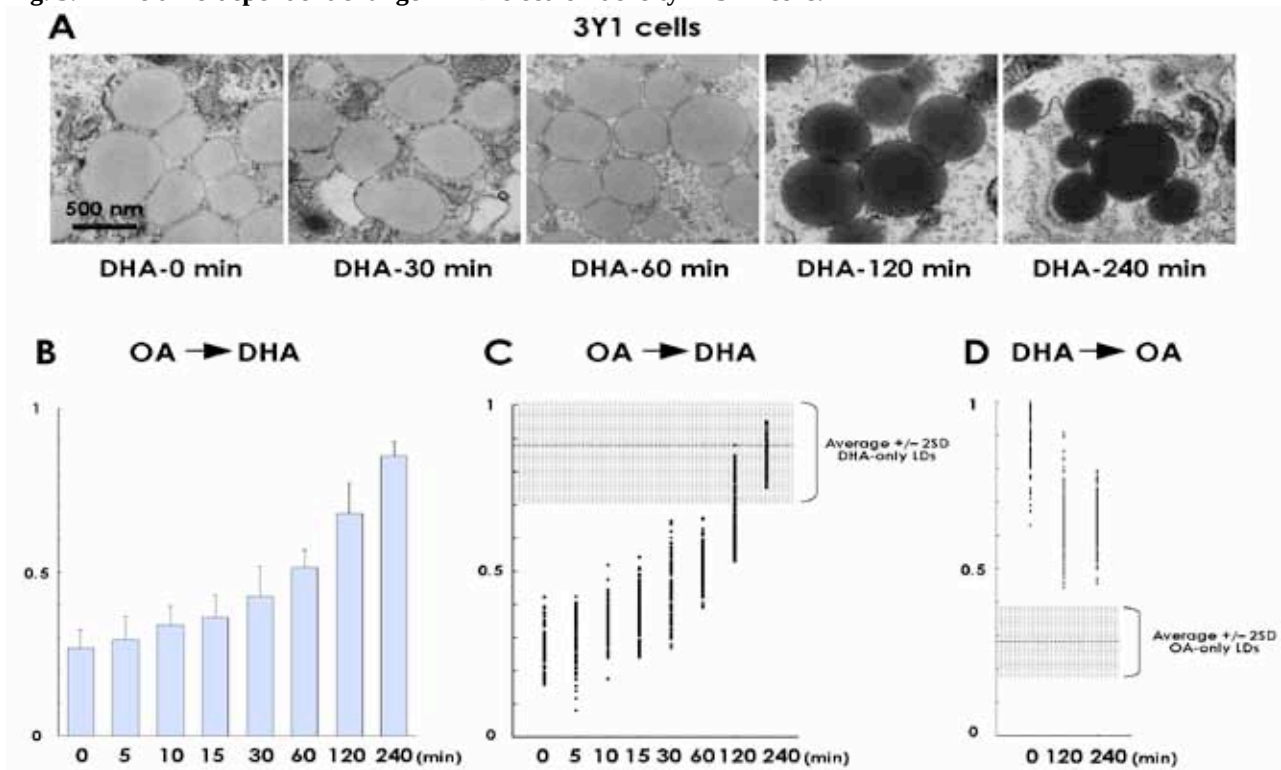
- Fluorescence microscopy. LDs and nuclei were stained with BODIPY493/503 (green) and DAPI (blue), respectively, after formaldehyde fixation. After 2 d of culturing in 2% LPDS, LDs were rarely observed (control). However, new LDs formed rapidly after treatment with fatty acids. OA induced new LDs most effectively, followed by LA and DHA.
- Conventional electron microscopy of ultrathin sections. The electron density of LDs differs prominently in accordance with fatty acid treatment. Electron density was the highest in cells treated with DHA, followed by LA and OA.
- Thin layer chromatography of total lipids extracted from 3Y1 cells. Two days of culturing in 2% LPDS reduced TGs and CEs to minimum levels. After incubation with 100 μ M OA, LA, or DHA for 12 h, a TG band became apparent but CE did not change. When cells were treated with 0.2 mM methyl- β -cyclodextrin-cholesterol complex for 12 h, CE, but not TG, became prominent.

Fig. 2. Quantitative measurement of LD electron density in electron micrographs of 3Y1 cells.



- A. The method of quantification. The electron density of LDs was measured with a relative scale, with the extracellular space and a grid bar in the same image field as representing density points of 0 and 1, respectively.
- B. The electron density of LDs in cells treated with OA, LA, or DHA for 12 h was quantified as described in A. The average electron density of LDs in LA- or DHA-treated cells differed significantly from that in OA-treated cells (Student's *t* test; **p* < 0.01). The numbers in the y-axis indicate the relative electron density in this and the following graphs.
- C. The effect of possible variables on LD electron density. OA-treated cell specimens were either electro-stained with lead citrate for one-third time shorter (left) or sectioned 1.2 times thicker (right) than a control sample from the same specimen. Neither the length of lead staining, nor a difference in section thickness, affected LD electron density.

Fig. 3. The time-dependent change in LD electron density in 3Y1 cells.

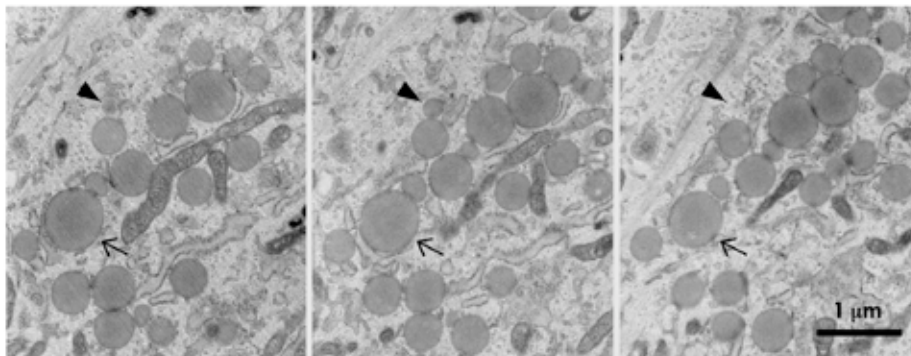


- A. Cells were cultured with OA for 12 hr, rinsed, and treated with DHA. Representative electron micrographs before, and 30, 60, 120, and 240 min after the DHA addition are shown. The LD electron density was low at 0 min, but increased gradually after DHA was added to the medium.
- B. The average electron density of LDs treated as in A. Ten images were taken in random areas, and the electron

density of all the LDs in each field quantified by the method described for Fig. 2A. The average electron density increased in a time-dependent manner. Note the small standard deviation at each time point. The electron density at any time point is significantly different from that of the adjacent time point, e.g., 0 min vs. 5 min ($p < 0.01$ by Student's *t*-test).

- C. The point plot of electron density for all LDs found in ten randomly chosen cells treated as in A. The shaded zone indicates the average (± 2 standard deviations) of the LD electron density in cells treated with DHA alone for 12 hr. Note that LDs of high electron densities did not occur as an independent population.
- D. Cells were cultured with DHA for 12 hr, rinsed, and treated with OA for either 120 or 240 min. The point plot of electron density for all LDs before and after OA treatment is shown. The shaded zone shows the average (± 2 standard deviations) LD electron density in cells treated with OA alone for 12 hr. The result indicates that LDs made of the OA ester alone do not form by the OA treatment of 120 or 240 min.

Fig. 4. Serial ultrathin sections of 3Y1 cells cultured with OA for 12 h and then with DHA for 60 min.
Serial ultrathin sections of 3Y1 cells



The LDs in the field show a homogenous change in density. The LD marked by an arrow is more than three times larger than the LD marked by an arrowhead. These results show that LDs differing in diameter by 3–4 times, or 27–64 times different in volume, contain existing OA and newly synthesized DHA esters in comparable ratios.

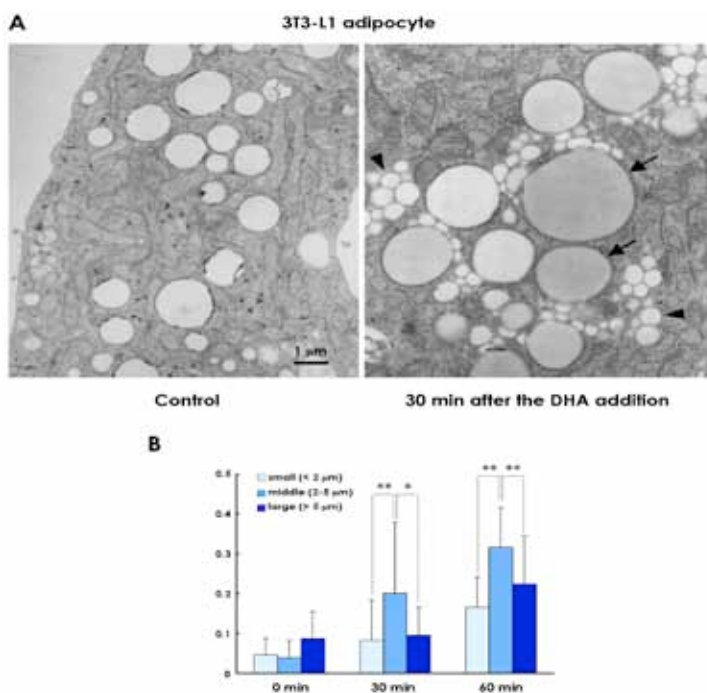
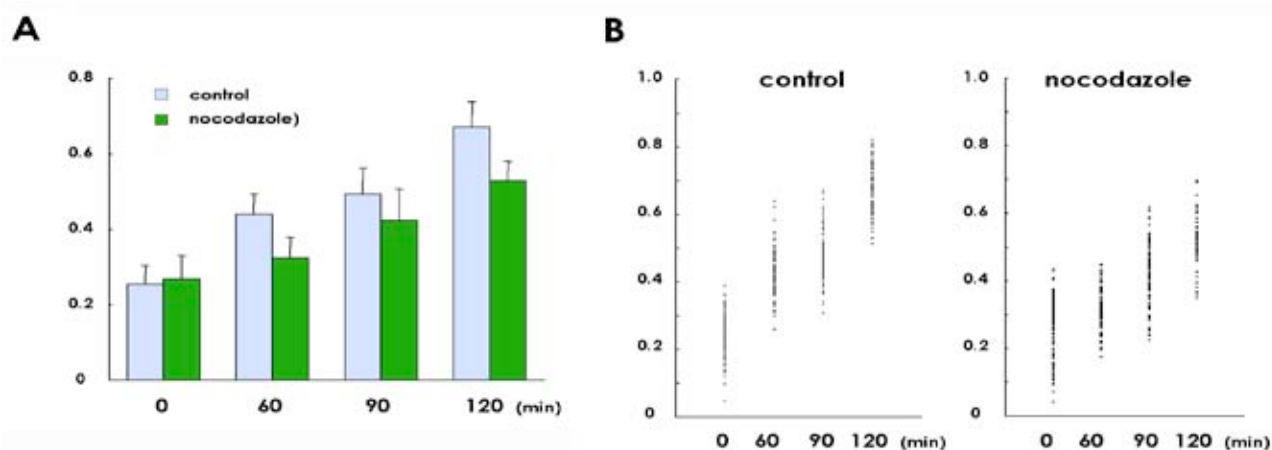


Fig. 5. The electron density of LDs in 3T3-L1 adipocytes treated with DHA.

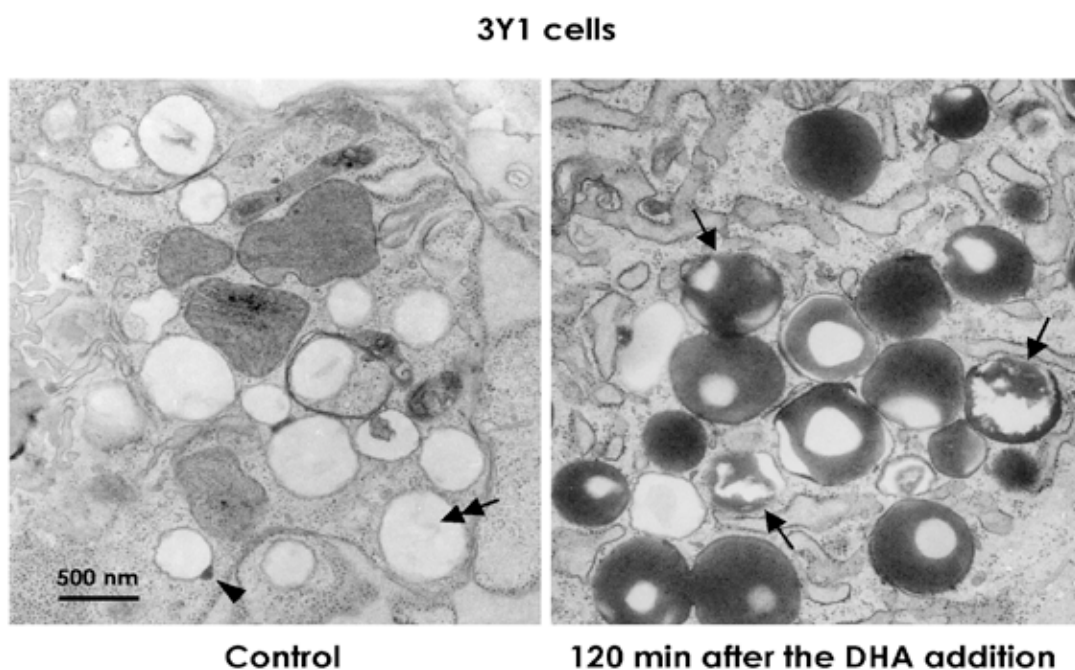
- A. Representative electron micrographs before (left) and 30 min after (right) treatment with DHA. LDs before DHA treatment were invariably electron-lucent, whereas those in DHA-treated cells were heterogeneous in electron density. Small LDs (arrowheads) generally had a lower electron density than medium-sized LDs (arrows).
- B. LDs were categorized into three groups according to their diameter, and their electron density 30 and 60 min after DHA treatment was quantified as for 3Y1 cells. After DHA, medium-sized LDs (2–5 μm in diameter), had an electron density higher than that of both smaller (less than 2 μm) and larger (more than 5 μm) LDs ($*p < 0.05$, and $**p < 0.01$ by Student's *t*-test, respectively.).

Fig. 6. The effect of nocodazole on the time-dependent change in electron density for 3Y1 LDs after DHA treatment.



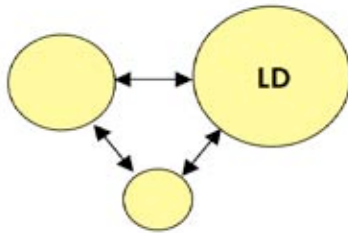
- A. Cells were cultured with OA for 12 hr, rinsed, and treated with DHA. One group of cells was administered 10 mM nocodazole during the last 1 hr of OA culturing, and DHA medium containing nocodazole was applied. The average electron density of LDs increased at a slightly slower rate in nocodazole-treated cells than in control cells, but the standard deviation of LD electron density was similarly small in both samples.
- B. The point plot of LD electron densities after DHA treatment, in the absence (left) or presence (right) of 10 mM nocodazole. Even in the nocodazole-treated sample, LDs with high electron densities was not observed as an independent population.

Fig. 7. Incorporation of DHA esters into CE-rich LDs.

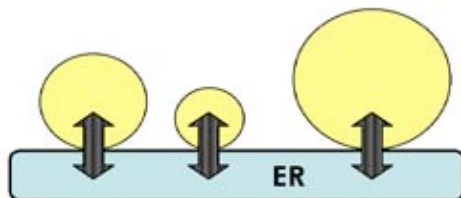


3Y1 cells were cultured with 0.2 mM methyl- β -cyclodextrin-cholesterol complex for 12 hr, and then treated with or without DHA for 120 min. Representative electron micrographs are shown. CE-rich LDs were electron-lucent in the center, but occasionally appeared hazy (double arrow) and/or had compact electron-dense materials in the rim (arrowhead). After DHA treatment, some LDs became homogeneously electron-dense, whereas others had zones of variously shaped high and low electron density (arrows).

A Exchange of lipid esters by mutual LD fusion



B Exchange of lipid esters through ER-LD conduits



C Production of lipid esters in the vicinity of individual LDs

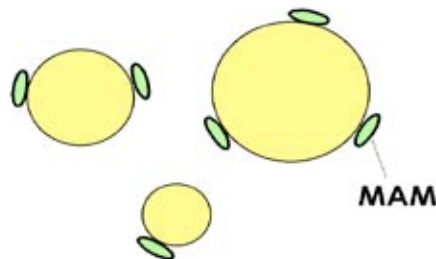


Fig. 8. Schemes for three possible mechanisms of LD growth with a uniform incorporation of TGs.

- A. Exchange of TGs by mutual fusion of LDs.
- B. Exchange of newly synthesized and existing TGs through persistent ER-LD conduits.
- C. Synthesis of TGs in the mitochondria-associated membrane (MAM) within the local vicinity of individual LDs.

Conclusion:

線維芽細胞の脂肪滴は局所で作られる

トリグリセリドが付加されて大きくなる

石川秀蔵

教育・研究技術支援室 装置開発技術系

概要

IRHS(Infrared High-resolution Spectrograph) は、電波観測では原理的に観測が不可能な、永久双極子モーメントを持たない分子の気相における振動回転スペクトルの観測を可能にする中間赤外線高分散分光観測装置である。今回、IRHS の 30K 低温ステージで使用するスリットタレット（回転式スリット）を製作した。

これは、従来の固定式スリットから、複数のスリットを使用できるように回転式に改造したものである。装置は 30K の低温下で使用するため、材料の収縮等による動作不良を生じないような構造とした。また、すでに設置されている他の光学部品との干渉を避けるため、3 次元 CAD を用いて効率的に設計を行なった。

以下に製作した IRHS 用スリットタレットについて構造、3 次元 CAD による設計、組立後の機能試験結果について報告する。

1 装置の概要

はじめに IRHS の概要を示す。図 1 に IRHS の全体、図 2 に光学系 30K 低温ステージ、図 3 に従来の固定スリットと設置スペースを示す。

本体の大きさ $\phi 1000 \times H1000$

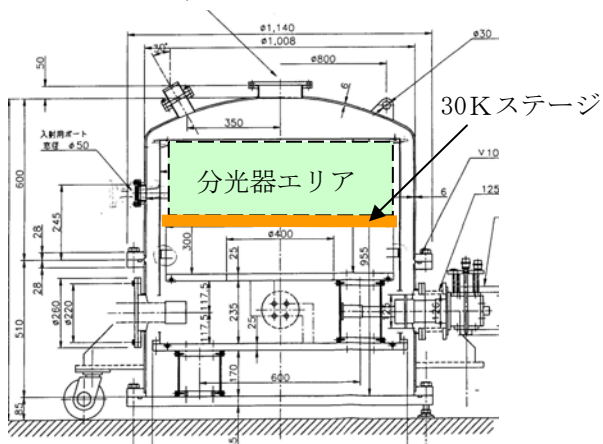


図 1. IRHS の概要

固定スリット

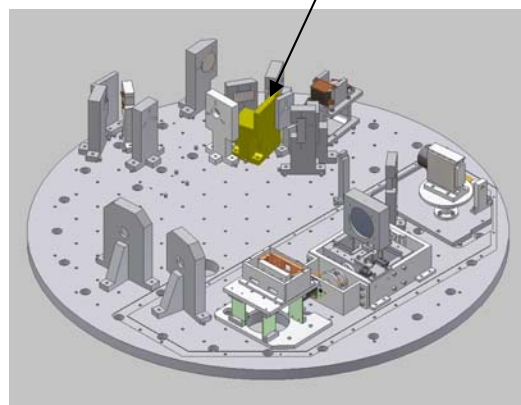
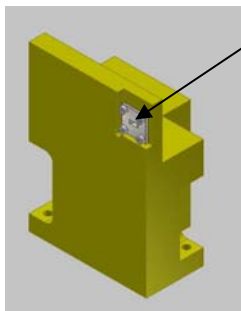


図 2. 光学系 30K ステージ

スリット



固定スリット

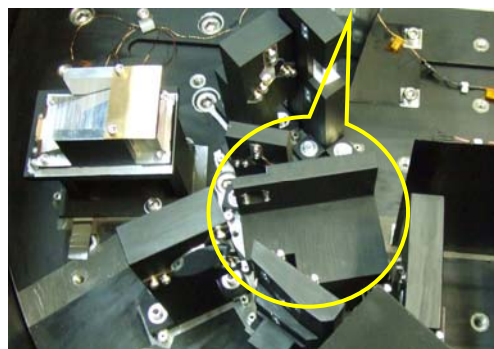


図 3. 固定スリットと設置スペース

今回製作したスリットタレットは、従来設置されていた固定スリットのスペースに置き換えるものである。次にスリットタレットの概要を図4に示す。基本構造は、これまで IRHS において使用されているレンズタレット（回転式レンズ交換装置）を参考にした。スリットホイールは、モータ駆動で回転し、固定ローラーで位置決めされる。回転と固定の切り替えは、モータ軸に取り付けられたウォームギアが軸上をコイルバネのバランスでスライドすることにより行なわれる。必要とされるスリットの位置決め精度は0.1mmである。

今回使用したモータの軸受け及び回転軸支持用軸受けは、真空低温用軸受けと交換して装置に組み込んだ。この方法は名古屋大学理学部物理Z研が開発したものであり、30Kにおける動作が実証されている。

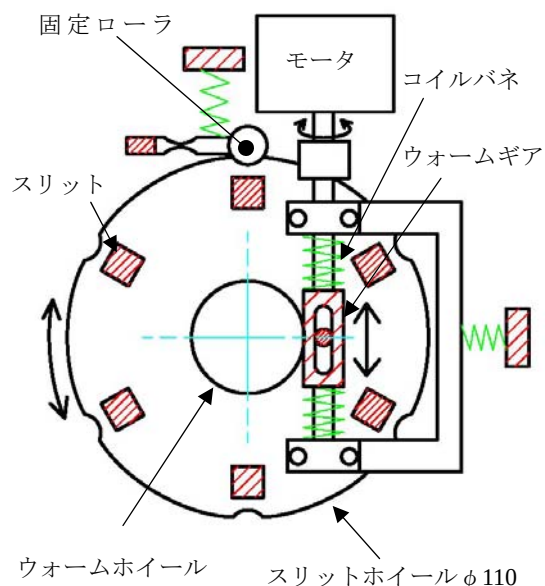


図4. スリットタレットの概要

2 装置の設計

装置は30Kの低温下で使用するため、材料の収縮等による動作不良を生じないように、

- 1) 波バネを用いて回転軸用軸受けの押し付け力を一定にする
- 2) 板バネを用いてウォームホイールとウォームギアの押し付け力を一定にする

等の設計を行なった。3次元CADにより設計した駆動部を図5に示す。今回、すでに設置されている固定式スリットと同一の光軸上に回転スリットを配置し、さらに他の光学部品との干渉を避ける必要があった。このような条件に対して3次元CADを使用し、設計を効率的に進めることが出来た。図6に設計した装置全体を、図7に光路（赤色で表示）および30K低温ステージ上に配置した状況をそれぞれ示す。

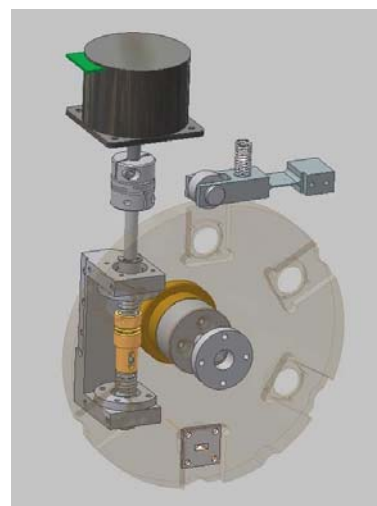


図5. 3次元CADにより設計した駆動部

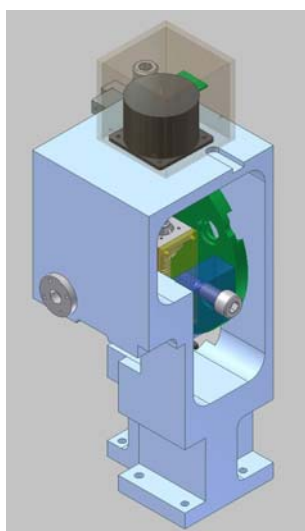


図6. 装置全体

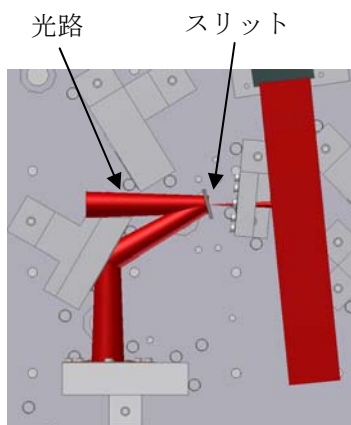
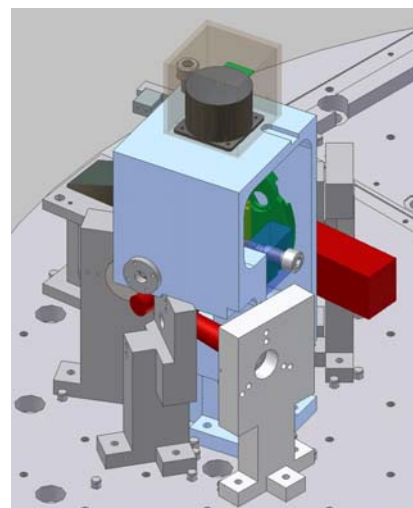


図7. 光路と低温ステージ上の配置



3 組立調整と機能試験

製作した装置を図 8 に示す。仮組立てを行なった後、手動でウォームギア軸を回転させ、スリットホイールが回転と固定を円滑に行なうように固定ローラー及びウォームギア軸の押し付け力を調整した。調整後、図 9 に示すようにスリットホイールを固定する際の再現性について、ダイヤルゲージを用いて測定した。



図 8．製作した装置

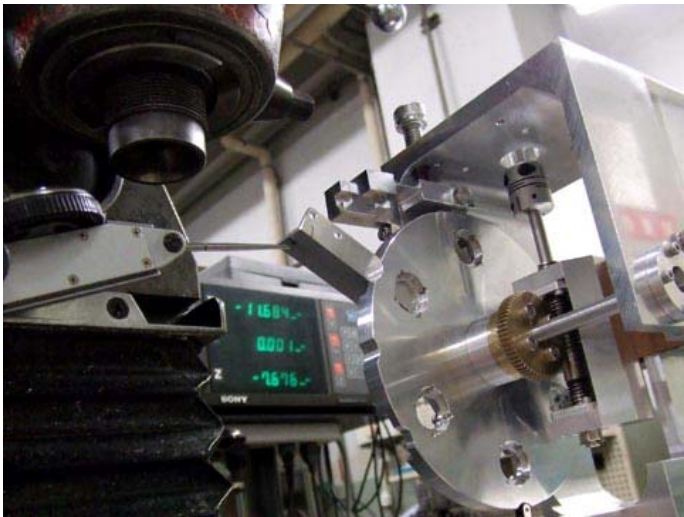


図 9．スリットホイールの停止位置測定

測定結果を表 1 に示す。これにより、ローラー押し付け力が 100～300g であればスリットホイールの停止位置決め精度は 0.1mm 以下であることが分かった。

表 1．スリットホイールの停止位置測定結果

ローラの押付け力 (gr)	ダイヤルゲージの読み 3 回平均 (mm)
50	0.143
100	0.354
200	0.354
300	0.357
バネ定数：50gr/mm	

さらに、ローラー押さえバネの荷重とホイールの必要回転トルク及びホイールに設けた円弧状の切欠き部からの脱出回転トルクを測定した。その結果とモータートルクおよび安全率を表 2 に示す。

以上の試験結果から、ローラー押さえバネの荷重を 300g に設定すれば、位置決め精度が 0.1mm 以下となり、かつモータ駆動トルクも安全率が 6 以上となることが分かった。今回の試験は常温であるが、先に述べた低温時における熱収縮低減機構とモータ駆動力の余裕から、30K 低温時においても十分な性能を発揮するものと考えられる。

表 2. ホイールの回転トルク測定結果とモータートルクの安全率

ローラーの押付け力 (gr)	ホイールの 回転トルク (gcm)	円弧切り欠きからの脱出回転トルク (gcm) (ウォーム軸換算)
100	640	80
200	960	80
300	1120	80
モータートルク	30kgcm	500gcm
安全率	26 以上	6 以上
ウォームホイールの減速比：60		

現在、スリットタレットは IRHS に組み込むため、図 10 のように反射防止の黒色処理を行い、図 11 に示すレーザー光による光学試験を行っている。



図 10. 反射防止の黒色処理をした装置

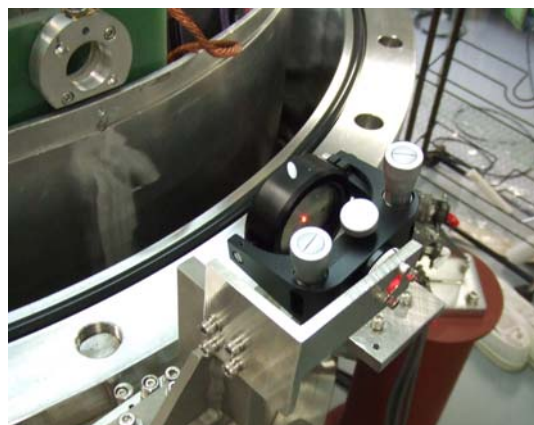


図 11. レーザー光による光学試験

4 まとめ

30K 低温ステージにおいて駆動する回転スリット（スリットタレット）を設計・製作し、常温下での位置決め精度 0.1mmを確認した。完成したスリットタレットは現在、IRHS の 30K 冷却光学定盤の所定の位置に設置が完了し、He-Ne レーザー光源による常温での光軸調整を終了した。引き続き、最終的に低温試験を行う予定である。分光器に配置する部品には多くの制約があり、それぞれの干渉を避けるための設計ツールとして 3 次元 CAD が非常に有効であることが分かった。

平成 21 年度東海・北陸地区大学法人等技術職員合同研修

(機械コース) に参加して

福田高宏

教育・研究技術支援室 装置開発技術系

概要

本研修は、東海・北陸地区国立大学法人等の技術職員に対し、職務遂行に必要な一般知識、専門知識及び新たな専門的技術等を学び、習得することにより、技術職員としての資質の向上を図ることを目的としたもので、今年度は国立大学法人豊橋技術科学大学で 8 月 31 日（月）から 9 月 2 日（水）の 3 日間実施され、13 機関から 20 名の技術職員が参加した。ここでは、本研修で受講した研究基盤センターの実習工場と「刃物研削・旋盤加工」の実習内容について報告する。

1 実習施設

1.1 研究基盤センター

研究基盤センターは、豊橋技術科学大学の教育・研究における学内の共同利用施設として技術開発統括部門、分析計測部門、工作機器部門の 3 部門からなり、学内研究者に利用されている。今回は、工作機器部門での実習を受講した。工作機器部門は、学内共同教育研究施設として研究用機器試作の支援、学生の実験実習教育、生産・材料・加工関連特別講演を行っている。

学生の実験実習では、機械系の学生を主な対象として 2 年次に「工学実験」という実験のカリキュラムの中に組み込まれ、溶接・旋盤実習、設計製図、CAD/CAM 加工実習などを行っている。生産・材料・加工関連特別講演では、他大学・企業から講師を招き、先端研究の現状について紹介する講演を開催している。その他の活動としては、ロボットコンテストの支援を行っている。図 1 に実習工場と工場内部を示す。



(a) 実習工場



(b) 工場内部

図 1. 実習工場と工場内部

1.2 主要設備機器

主要設備機器としては、表1に示すような機器がある。

表1. 工作機器部門の主要設備

機械名		台数
旋盤	高速旋盤	5
	小型精密旋盤	1
フライス盤	NC フライス	1
	縦フライス盤	1
	横フライス盤	2
NC 切削加工機	縦型マシニングセンタ	2
	横型マシニングセンタ	1
	CNC 旋盤	1
	CNC 倣いフライス盤	1
非切削加工機	炭酸ガスレーザ加工機	1
	ワイヤ放電加工機	1
	エアプラズマ切断機	1
	プレスブレーキ	1
	シャーリングマシン	1

2 実習内容

2.1 刃物研削

実習では刃物研磨及び旋盤加工を行った。刃物研磨では、ハイスバイトの研削とハイスドリルの研削を行った。バイト、ドリルとも両頭グラインダーと呼ばれるモーターの両側に砥石車を取り付けた装置で研削を行った。両頭グラインダーで研削を行う場合は、工具を持つ指がグラインダーに触れないような姿勢と指の位置を保つことが重要である。そのため研削を始める前に、グラインダーが止まっている状態で、実際にバイトを持って研削する部分を砥石車に軽く当て、安全を確認した。

指がグラインダーに触れないことが確認できたら、グラインダーを回転させ研削を開始した。砥石車にバイトの研削面を当てるときは、受け台に手を置いて、手が研削の振動を吸収するようにする。刃先をグラインダーに連続的に当てていると加熱によって焼き戻しが入ってしまうので、頻繁に刃先を水につけて冷却をしながら刃先の研削を行った。図2に研削実習の様子と図3に研削したバイトを示す。



図2. 研削の様子



(a) 側面



(b) 上面

図 3. 研削したバイト

2.2 旋盤加工

旋盤加工では、四つ爪チャックを使用して工作を行った。四爪チャックは、図4（a）のように爪が4個あり、それぞれの爪を独立して動かすことができる。四つ爪チャックは爪四つがそれぞれ独立して動かすことができるため精密な芯出しが可能である。また材料の任意の位置を回転中心とすることができるため、偏心加工や円筒形状でない材料の固定も可能であるが、図4（b）に示すような三つ爪スクロールチャックと比べて簡単に芯出しができない。そこで四つ爪チャックで芯出しを行う場合は、ダイヤルゲージを工作物に当てて針の振れが無くなるように主軸を回して爪を調整するというを行った。

芯出し終了後、切削加工の実習を行った。切削加工では、図5に示すような部品を製作した。今回の実習では、軸の寸法を公差内に仕上げることを課題とし、寸法公差内に近づいてきたところで切削毎にこまめに寸法を測定し、寸法公差内に収まるよう仕上げを行った。図6に旋盤実習の様子を示す。



(a) 四つ爪チャック



(b) 三つ爪チャック

図 4. 四つ爪チャックと三つ爪チャック

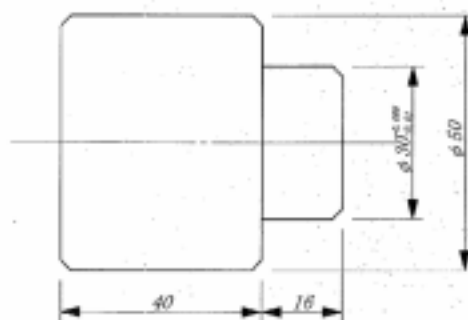


図 5. 実習製作部品



図 6. 旋盤実習の様子

3 まとめ

本研修を受講して、刃物研削では工具の刃先をグラインダーに当てる面と角度が難しく、切削可能な刃先に仕上げるためには、相当の訓練が必要であることがわかった。また旋盤加工実習では、工作物を四つ爪チャックにセットする段取りに手間取った。三つ爪スクロールチャックを使用すれば簡単に工作物をつかむことができるが、精密な芯出しを必要とする場合は、四つ爪チャックが必要となるため、四つ爪チャックも使用できるようになっておく必要があると感じた。

4 謝辞

最後に本研修の講義を担当して頂いた講師の先生方、企画運営をして頂いた豊橋技術科学大学の事務及び技術職員の方々に感謝の意を表します。

○白木尚康^{A)}，御厨照明^{A)}，鷺見高雄^{A)}，山本浩治^{A)}，中木村雅史^{A)}

^{A)} 工学系技術支援室 装置開発技術系

概要

精密加工に適したリニア駆動を装備した新しいワイヤ放電加工機 WEDM（ソディック社製 AQ327L）は、G-COE の設備品として 2009 年 3 月末に赤崎記念研究館の装置開発ファクトリーに導入され、従来稼働中の WEDM（三菱電機社製 FX10）と共にさらに研究開発業務に寄与することが期待される。稼働に際して、AQ327L と FX10 を機能面と性能面での比較・評価を行った。機能面では主にカタログより比較を行い、性能面では試料を作製して、加工精度や加工面粗さ、加工時間などを測定し、両 WEDM の評価を行った。加えて、AQ327L は細線である $\phi 0.07\text{mm}$ のワイヤが使用可能なので、通常の加工に用いている $\phi 0.2\text{mm}$ と同様の比較を行った。また、薄板加工や細線を使用したスリット加工等の活用事例も併せて報告する。

1 機能比較

表 1 機能の比較

機能の比較を表 1 に示す。今回導入された AQ327L の最大の特徴は、X, Y 軸の駆動方式にリニア駆動を採用していることである。リニア駆動は従来のボールネジに比べ、軸の磨耗から生じる加工精度の低下や位置制御の正確さという観点から優位性がある。また、電極に使うワイヤも $\phi 0.07\text{mm}$ （オプション）が使用でき、微細加工に適している。

構造上の構成や CAD 等について FX10 と比較してみると、加工槽は AQ327L が 3 面自動で開閉する仕組みになっているので、ワークのセットがしやすい。一方、FX10 は前面のみの開閉で手動により行う。加工機にワイヤをセッ

トする際、AQ327L は正面のみで行えるのに対し、FX10 は側面にワイヤホルダーがあるので、側面および正面でセットしなければならない。

加工のための準備段階におけるワイヤ結線については、AQ327L の特徴である割りガイドによりすばやい結線が行えるのに対し、FX10 は約 8 倍の時間がかかっている。また、FX10 では $\phi 0.1\text{mm}$ のワイヤの自動結線に失敗するケースが多く手動により行っていたが、AQ327L では最小径 $\phi 0.07\text{mm}$ でも自動結線ができる。

メーカー	ソディック	三菱電機
機 種	AQ327L	FX10
購 入 年	2009	1997
駆動方式	リニア駆動	ボールネジ駆動
ワイヤ電極径 (ϕ)	0.15～0.3mm	0.2～0.3mm
(オプション)	0.07, 0.1mm	0.1, 0.15mm
移動量 (X×Y×Zmm)	370×270×250	350×250×220
テーブル定盤	コの字一体	ロの字一体
加工槽の形状、開閉	三面（自動）	前面のみ（手動）
ワイヤセット	正面のみ	正面および側面
自動ワイヤ結線 ($\phi 0.2\text{mm}$, Z軸高さ:100mm)	早い (12sec)	遅い (95sec)
ワイヤ垂直出し	難しい	簡単
CAD, NCデータ	加工機に附属	外部, FD移動
ワイヤ消費量 (SUS304, 加工距離:25mm)	17.2g (加工時間:6min)	25g (加工時間:7min)
消 耗 品	安 価	高 価

CAD および NC データについて, AQ327L は加工機本体で CAD から NC データが作成できるのでデータ移動の必要がなく便利である. これに対し FX10 では外部の PC に CAD があり, そこで NC データを作成しフロッピーディスクを用いてデータを加工機に入力する方式になっている.

ワイヤの消費量についてはステンレス鋼 SUS304 を用いて同一形状加工を行い, 比較した. AQ327L は時間で 14%, ワイヤは 31% 節減できることがわかった. 消耗品については, FX10 に比べて AQ327L はワイヤにより消耗するダイスおよびノズルカバーと加工液をろ過するためのフィルターおよびイオン交換樹脂, そして最大の消耗品であるワイヤの価格が安価である. 以上のことから, AQ327L は FX10 に比べランニングコストの点からも有利であることがわかる.

2 性能比較

2.1 試料製作と材質

評価用の試料は 10mm の立方体のパンチ形状で, 材質はステンレス鋼 (SUS304) とジュラルミン (A2017S) の二種類を用いた. 加工回数は, 主に実際の業務で行われる 1 回の加工で形状寸法を得るファーストカット (1st cut) と, さらに高い面粗度を得るための複数回加工のセカンドカット (2nd cut) を行った.

図 1(a), (b)にそれぞれの加工経路を示す.

ワイヤはスタートホールから 5mm の助走の後, 矢印の方向に進行していく. ここで, 加工条件はメーカ仕様のものを用いた.

なお, 試料の加工面粗さ (R_y : 最大高さ JIS B 0601:1994) の測定には, Rank Taylor Hobson 社製の From Talysurf 50e を用いた. 加工精度は, Mitutoyo 製 QM-MEASURE 353 三次元測定器を使用して平行度を測った. また, 加工時間は WEDM の記録を用いた.

2.2 AQ327L と FX10 の比較

試料はワイヤ径 $\phi 0.2\text{mm}$ を用い, 1st cut で作製した. 表 2 に AQ327L と FX10 の測定結果を示す.

SUS304 と A2017S の両材質および両 WEDM とともに, R_y については $17\mu\text{m}$ 前後とメーカの設定値以内であり, 平行度も 10mm 角の試料寸法に対して $4\sim 6\mu\text{m}$ 幅に治まっているが, AQ327L の方が

FX10 に比べて精度は良いようだ. 加工時間は, SUS304 の場合は AQ327L の方が FX10 より 14%ほど短い, A2017S では逆に約 9%長くなっている.

2.3 AQ327L について

AQ327L は $\phi 0.07\text{mm}$ のワイヤを使った微細加工が可能なので, $\phi 0.2\text{mm}$ と $\phi 0.07\text{mm}$ の二種類のワイヤについて 2.2 同様に試料を作製して評価を行った. 測定結果を表 3 に示す.

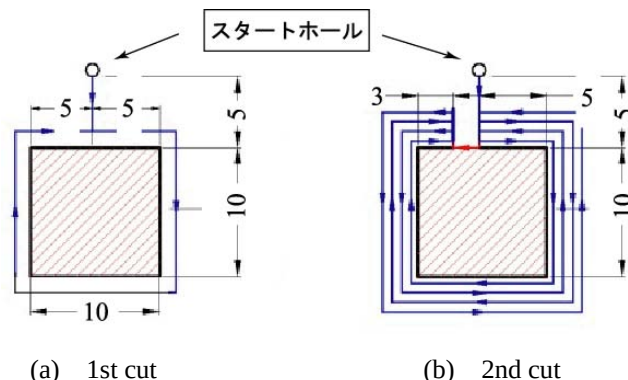


図 1. 製作した試料の加工経路

表 2 AQ327L と FX10 の比較 ($\phi 0.2\text{mm}$)

材 料	WEDM	加工面粗さ $R_y (\mu\text{m})$		加工時間 $t (\text{min})$	加工精度 平行度 $p (\mu\text{m})$
		メーカ値	実測値		
SUS304	AQ327L	20	17.3	6:01	4.3
	FX10	16~20	17.1	7:04	5.8
A2017S	AQ327L	20	16.9	3:39	4.7
	FX10	30~40	17.1	3:21	5.8

まず、SUS304 での $\phi 0.2\text{mm}$ における 1st cut と 2nd cut (この場合 4 回加工) の比較では、2nd のほうが加工時間は 4 倍かかっているが、加工距離 (図 1(b)) を考慮すれば妥当な値といえる。Ry は 1st の 1/3

表 3 AQ327L のワイヤ径および加工回数による比較

材 料	加工回数	ワイヤ径 ϕ (mm)	加工面粗さ Ry (μm)		加工時間 t (min)	加工精度 平行度 p (μm)
			メーカー値	実測値		
SUS304	1st	0.2	20	17.3	6:01	4.3
	2nd	0.2	2.5	3.7	24:08	3
	2nd	0.07	2.5	6.4	1:35:33	2.2
A2017S	1st	0.2	20	16.9	3:39	4.7
	2nd	0.2	2	3.3	13:39	1.2
	2nd	0.07	—	13	59:51	3.2

程度まで低下している。平行度も 2nd のほうが良好である。 $\phi 0.07\text{mm}$ の加工では、加工時間が $\phi 0.2\text{mm}$ の約 4 倍と大幅に増加しているのに対し、平行度は向上しているものの、Ry は逆に大きくなっている。今後、加工条件を精査する必要があるものと思われる。

一方 A2017S の $\phi 0.2\text{mm}$ の加工では、2nd が 1st に比べて加工時間は約 3.7 倍と長くなっているが、Ry、平行度ともに 1st のほぼ 1/4 程度に低下している。しかし $\phi 0.07\text{mm}$ の 2nd cut での比較では、時間は $\phi 0.2\text{mm}$ の 4.4 倍もかかっているのに、Ry、平行度ともに悪くなっている。 $\phi 0.07\text{mm}$ における A2017S の加工条件はメーカーでは用意されていないので、今回 SUS304 と同じ条件で行っている。このことが Ry および平行度の悪化の原因と考えられる。

以上のことから、現時点では幅 0.2mm 以下のスリットの作製などの場合を除き、通常の加工には $\phi 0.07\text{mm}$ より $\phi 0.2\text{mm}$ のワイヤを使用したほうが加工時間も短く、良好な加工面粗さおよび加工精度も得られることがわかった。

3 活用事例

3.1 薄板加工

表 4 薄板加工実験結果

AQ327L は Z 軸をリミット限界まで下げても、薄板の場合ノズルを密着させることはできない。ノズルを密着させないと噴流等の影響で薄板が振動し、ワイヤが断線して加工が進まないことがある。マニュアルには、薄板加工の場合は加工条件の放電時間設定値 ON と主電源電圧設定値 V のどちらかひとつ

試料No.	放電時間 ON	主電源電圧 V	瞬間速度 (mm/min)	加工時間 (min)
1	1	8	5.0	6:18
2	2	8	7.0	5:18
3	6	1	10.2	3:34
4	6	2	10.9	3:32
メーカー推奨	6	8	—	—

つかあるいは両方を小さくすることで改善されると書いてあるので、実際に加工実験をし、検証した。

材質は SUS304 の 0.5mm 厚の板を用いて、5mm 角のパンチ形状を作製した。加工はワイヤ径 $\phi 0.2\text{mm}$ を用いて 1st cut で行い、助走区間は 5mm とした。加工条件はパラメータの ON と V のどちらか一方を一定とし、他の値を徐々に小さくすることとした。ちなみに、メーカー推奨条件は ON が 6、V は 8 である。

加工実験結果を表 4 に示す。表より V のみ数値を小さくした No.3, 4 が瞬間速度、加工時間ともに良い結果を出すことができた。また、加工寸法をマイクロスコープで計測したところ、 $\pm 0.02\text{mm}$ で加工できていることを確認した。ワイヤの断線は、加工実験中は一度も生じなかった。したがって、今後の薄板加工では V を 1 もしくは 2 に設定することで、ワイヤ断線がなく加工時間も短い良好な加工ができるものと思われる。

3.2 スリット加工

スリット加工は、薄板加工とともにワイヤ放電加工での業務依頼が多い。AQ327L はワイヤ径 $\phi 0.07\text{mm}$ が使用できるので、溝幅 0.1mm のスリットの作製を試みた。材質は SUS304 の 5mm 厚の板を用い、スリット寸法は幅 0.1mm 長さ 20mm のものを 1st cut で直線加工をした。

最初はメーカー推奨条件で行ったところ、幅 0.125mm のスリットができてしまった。目標は 0.1mm なので加工条件に検討を加え、最終的に主電源電圧 V を 1.0 から 0.1 に補助電源回路 HRP を 407 から 000 に変更して加工を行った結果、図 2 に示すような幅 0.098mm のスリットが製作できた。スリット境界面が粗いという課題があるが、加工条件を検討することで改善できると考える。

3.3 プロジェクタイトル製作

図 3 に、業務依頼で製作したプロジェクタイトル（飛翔体）とサボ（発射台）を示す。サボに連結されたプロジェクタイトルは、He ガスの噴出によって発射された後サボと分離し飛び続ける。その軌跡を評価するつまりプロジェクタイトルの空気力学的特性を検証するのが、実験の目的である。ここで重要なことは、分離後のプロジェクタイトルの直進性であり、プロジェクタイトルとサボ双方の高精度加工が要求される。すなわち、プロジェクタイトルとサボとのはめ合いが重要で、ガタがなくかつ抵抗なくスムーズに着脱できることが望ましい。

プロジェクタイトルは、SUS304 で作製した長さ 7.7mm の円錐形先端部と、それ以外の翼を持つ長さ 30mm 幅 12mm の A2017S 製のボディ部から構成されている。

ボディ部は、①図 4 に示す長さ 30mm 、幅 12mm 、翼部分の厚さ 1mm 、中央の円柱部の直径が $\phi 4\text{mm}$ の形状のものを作製し、②その円柱部分を NC 旋盤で加工した後、③翼部分をマシニングセンタで 3 次元加工して完成する。先端部は $\phi 4\text{mm}$ の SUS304 丸棒に M2.5 のネジを切り、ボディ部と一体にした後、NC 旋盤で加工して、プロジェクタイトルを完成させた。なお、サボはマシニングセンタで精密加工した。材質はポリカーボネートである。

当初ボディ部①はマシニングセンタで作製していたが、片持ち加工であるため、加工精度に問題があった。そのため、完成したプロジェクタイトルとサボとのクリアランスが約 0.1mm もあり、その大きさが課題であった。そこでボディ部①を、WEDM を用いて作製してみた。加工は 2nd cut（3 回加工）で行った。完成した形

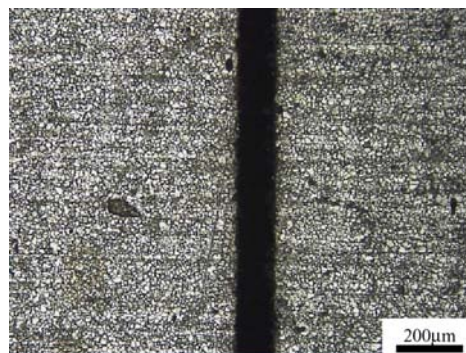


図 2. スリット加工（幅 0.098mm ）

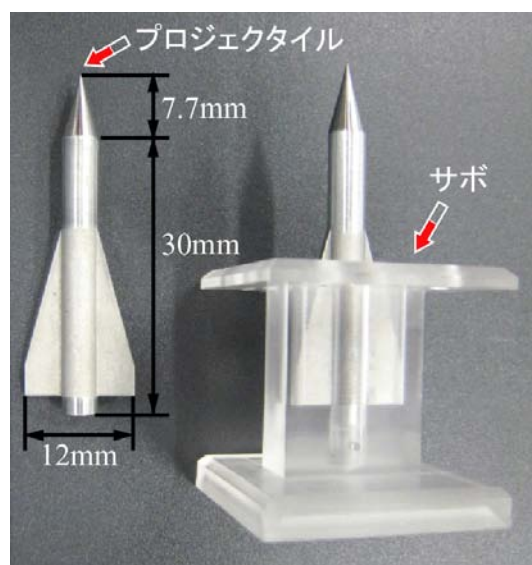


図 3. プロジェクタイトルとサボ

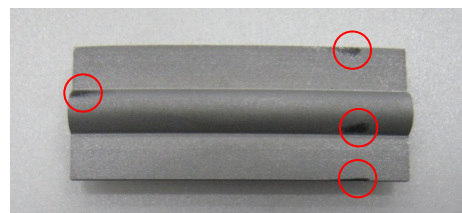


図 4. WEDM で製作したボディ部①

状および寸法は要求どおりのものであったが、図 4 中の赤丸で示すような、放電焼けが数箇所が発生した。この状態では製品としては使用できない。原因は加工の最後でワークからボディ部①を切落とす際、ボディが振動し、その一部分がワークに接触したことによってショートしたことである。この問題は、切落とし時におけるプログラムの一部を変更すること（具体的には加工条件を 1st cut ではなく 2nd cut で、つまり放電電流を下げる）と、スラッジを除去する機能を持つ噴射を高圧から低圧に変えることで、ボディ部①の振動を抑えることに成功して解決した。

以上のような過程で製作したプロジェクトイルとサボとのクリアランスは 0.02mm となり、精度の高いプロジェクトイルの製作が可能になった。なお、プロジェクトイル完成までの加工時間は約 50 分で、そのうち WEDM で作製したボディ部①は 15 分程度を要している。

3.4 剣状デバイスの製作

培養容器の下部より磁性体を含む生体試料位置を保持したまま長期間培養するためのデバイス、剣状デバイスの製作依頼があった。突起部が正方形で等間隔であることが、重要な事例である。材料は電磁軟鉄（SUJB）で、一辺 20 mm の正方形、厚さ 10.3mm のブロック材の先端に、 $0.1 \times 0.1 \text{ mm}^2$ で高さ 0.3mm の突起を 0.3, 0.25, 0.2, 0.15mm の間隔で作製する。

デバイス間の最小距離が 0.15mm なので、 $\phi 0.07 \text{ mm}$ のワイヤを用いて作製した。自動プログラムで一筆書きの NC 加工を行うと、加工によって開放されたワーク固有の内部ひずみが開放されて、突起部が変形するおそれがある。そこでまず図 5(1)に示すように、オフセット値を 0 にしてワイヤを往復させて、幅 0.1mm 程度の溝を作製するとともにひずみを開放した。次にスタート地点に戻って、オフセットをメーカー指定値に設定して往路では溝の右側の面（図 5(2)）を、復路では左面（図 5(3)）を加工した。

図 6 は完成した剣状デバイスのマイクロスコープ画像である。図中の上の画像がデバイスの一部を上から撮ったもので、下の画像は拡大した横からのものである。ほぼ依頼どおりの製品が製作できたと思っている。なお、加工時間は約 11 時間であった。

4 まとめ

機能比較と性能比較することで、ソディック社製ワイヤ放電加工機 AQ327L の特徴を理解することができた。加工実験では、AQ327L, FX10 とともにワイヤ径 $\phi 0.2 \text{ mm}$ の加工では、加工面粗さ (R_y) はメーカー値精度以内であり、加工精度（平行度）も良好な値を示した。AQ327L の細線加工 ($\phi 0.07 \text{ mm}$) では R_y はメーカー値より悪い。メーカー推奨の加工条件が少ないので、データベースを増やすとともに加工条件の検討を今後の課題としたい。

活用事例では基本操作だけでなく、加工条件の変更や加工方法、プログラムの編集についても学ぶことができた。今後の教育研究、技術開発業務に貢献できるよう、技術の習得研鑽に努めたいと考えている。

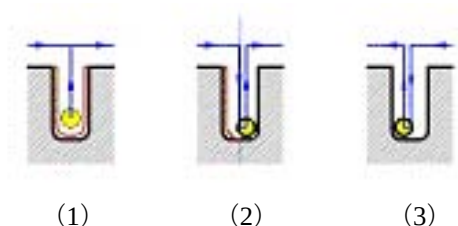


図 5. 剣状デバイスの加工経路

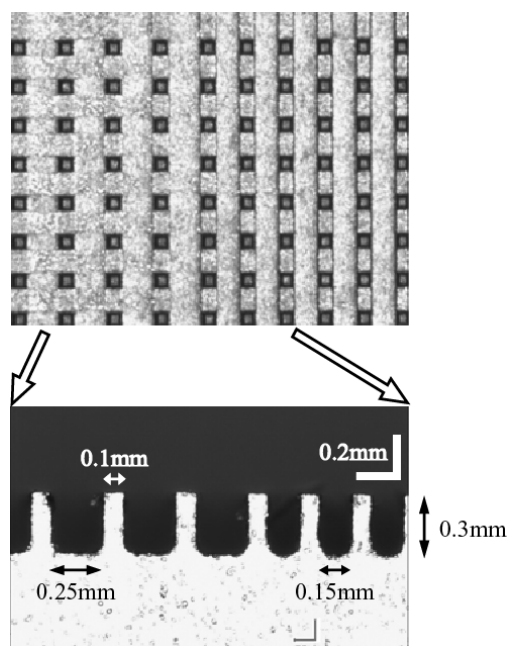


図 6. 剣状デバイス

中部シンクロtron光利用施設（仮称）の放射線しゃへい設計検討

森本 浩行

工学系技術支援室 装置開発技術系

はじめに

工学系技術支援室 装置開発技術系では、小型シンクロtron光研究センターからの業務依頼に基づき、中部シンクロtron光利用施設（仮称）（以下「中部 SR 施設」という。）の設計支援を行っている。これまでに担当した業務について報告する。

概要

小型シンクロtron光研究センターが発足した平成 19 年 4 月以降、主に以下の 6 項目について業務を担当してきた。

- ①〔設計支援〕シンクロtron光発生装置及び測定システムの設計支援（電子蓄積リング、ブースターシンクロtron、直線加速器及び建屋の CAD 図面作成（図 1 参照））
- ②〔広報資料の作成・管理〕小型シンクロtron光研究センターホームページ等の作成、管理、更新
- ③〔許認可対応〕放射線発生装置の使用許可申請対応
- ④〔運転方法の習得〕UVSOR 等放射光施設における運転訓練及び調査
- ⑤〔超伝導ウィグラーの管理〕超伝導ウィグラーの運転及び保守
- ⑥〔実験支援〕小型シンクロtron光研究センターに関連する学生実験支援

これらの内、③の放射線発生装置の使用許可申請に必要な放射線しゃへい設計について、これまで検討した成果をまとめた。

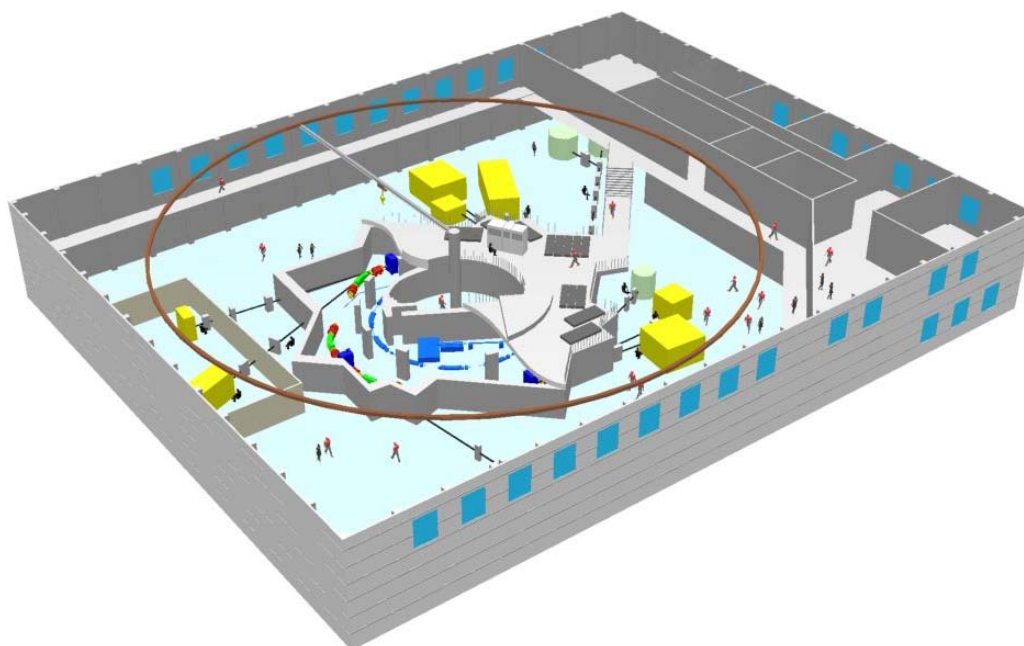


図 1 中部 SR 施設 建屋鳥瞰図

1 内容

1.1 目的

放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律により、シンクロトロン等の放射線発生装置を使用しようとする者は文部科学大臣の許可を受ける必要がある。許可を受けるために提出する申請書の記載事項の1つに、放射線しゃへいについての項目がある。本検討では、中部SR施設の放射線しゃへいについて設計検討することが目的である。

1.2 手順

検討を開始する前に全体計画を策定し、業務フローを作成した(図2参照)。この業務フローに従って検討を進めた。

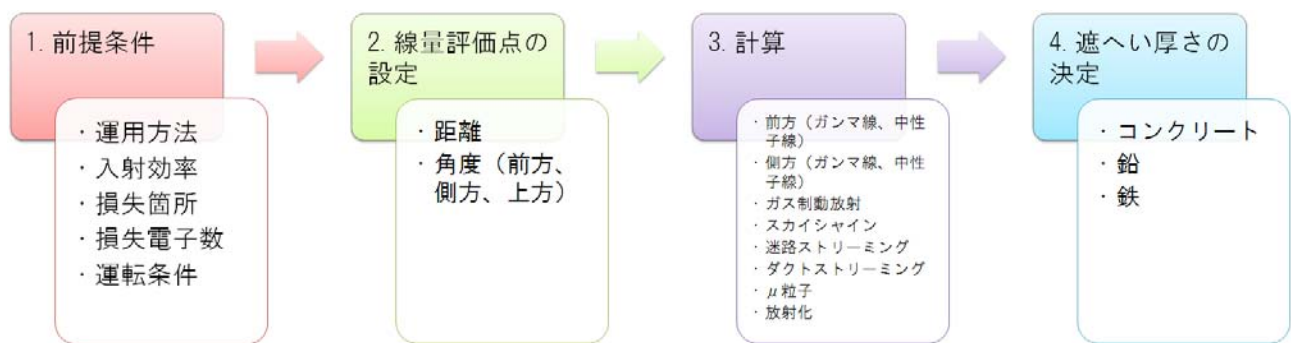


図2 業務フロー

1.3 前提条件

中部SR施設の運用方法は24時間運転とし、蓄積された電子(300mA)は2時間で全て損失すると仮定した。入射効率、損失箇所、損失電子数〔個/週〕を図3に示す。

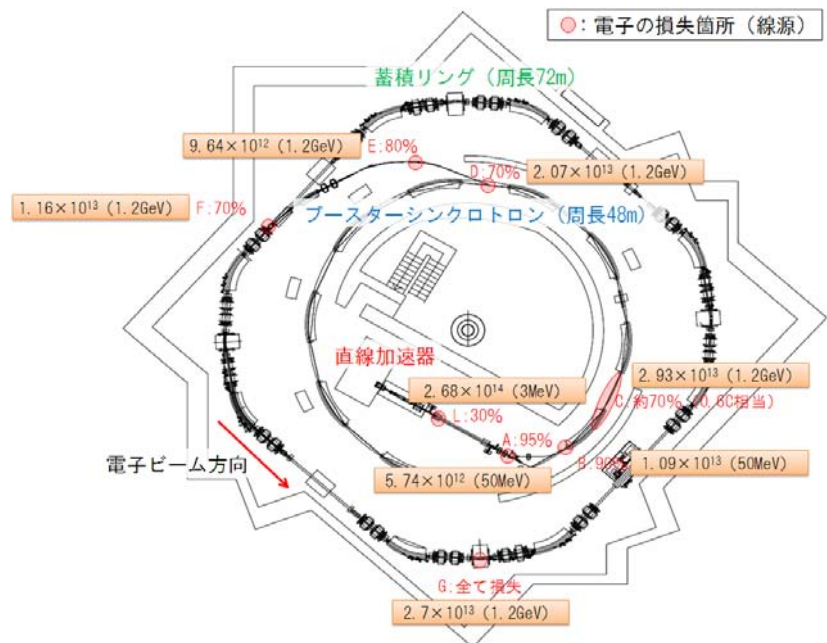


図3 入射効率及び1週間あたりの損失電子数

1.4 線量評価点の設定

線量評価点は最も線量が大きくなると想定される場所を代表的に選ぶ。線源からの距離については建屋平面図(CADデータ)から距離を求め、角度については前方(0°)、側方(90°及び270°)、上方を選定した。管理区域内、管理区域境界、事業所境界における放射線量が法令規制値以下となるようなしゃへい設計とした。

1.5 放射線量の計算

放射線量の計算式は、他放射光施設で使われている式を利用し（表 1 参照）、Microsoft Excel を用いて放射線量の計算を行った（図 4 参照）。業務の様子を図 5 に示す。中部 SR 施設は直線加速器（50MeV）、ブースターシンクロトロン（1.2GeV）、電子蓄積リング（1.2GeV）から構成され、それらの機器から発生する放射線量を計算により求めた。中部 SR 施設における加速器のパラメータを表 2 に示す。

表 1 放射線量の計算式※1

前方
ガンマ線線量[1]
$H_g = 1.0 \times 10^{-8} \cdot (10 \times E_0)^{1.47} \cdot r^{-2} \cdot \exp(-\rho \cdot d \cdot \mu_{pm}) \quad [Sv/e]$
中性子線量[2]
$H_{nh} = (p/r)^2 \times 4.0 \times \exp(-d/\lambda_{nh}) \quad [Sv/e] \quad (\text{高エネルギー中性子})$
$H_{nj} = (p/r)^2 \times 22.7 \times \exp(-d/\lambda_{nj}) \quad [Sv/e] \quad (\text{巨大共鳴中性子})$
側方
ガンマ線線量[3]
$H_g = E_0 \cdot (\sin \theta / r)^2 \cdot [1.33 \times 10^{-11} \cdot \exp(-\mu_p \cdot d / \sin \phi) \cdot (1 - 0.98 \cos \theta)^{-1.2} + 0.267 S_H \cdot \exp\{-\rho \cdot d (\lambda_1 \cdot \sin \phi)^{-1}\} \cdot (1 - 0.72 \cos \theta)^{-2}] \quad [Sv/e]$
中性子線量[4]
$H_n = E_0 \cdot (\sin \theta / r)^2 \cdot [S_H \cdot \exp\{-\rho \cdot d (\lambda_1 \cdot \sin \phi)^{-1}\} \cdot (1 - 0.72 \cos \theta)^{-2} + S_M \cdot \exp\{-\rho \cdot d (\lambda_2 \cdot \sin \phi)^{-1}\} \cdot (1 - 0.75 \cos \theta)^{-1}] + 3.79 \times 10^{-13} \cdot Z^{0.73} \cdot \exp\{-\rho \cdot d (\lambda_3 \cdot \sin \phi)^{-1}\} \quad [Sv/e]$
ガス制動放射[5]
$H_{br} = D \times 10^{-12} \times \exp(-d/\lambda_1) / r^2 \quad [Sv/h]$
スカイシャイン[6]
$H = H_{max} \cdot B \cdot R \cdot (16 \times r)^{-1} \cdot \exp(-r/\lambda_{air}) \quad [\mu Sv/h]$
迷路ストリーミング
ガンマ線線量[7]
第 1 脚目の減衰割合： $g_1 = 0.22 \times (d + L_1)^{-3.0}$
第 i 脚目の減衰割合： $g_i = 0.22 \times (d + L_i)^{-2.6} \quad (i=2, 3 \dots)$
ガンマ線線量[7]
第 i 脚目の減衰割合： $f_i = f_e \times \{\exp(-L_i/0.45) + 0.022 S^{1.3} \cdot \exp(-L_i/2.35)\} / (1 + 0.22 S^{1.3})$
ダクトストリーミング
ガンマ線線量[8]
減衰割合： $g_i = (1/8) \times (d/L_1)^2 \times \Pi \{ (1/8) \times (d/L_i)^2 \times (\alpha / \sin \theta_i) \}$
中性子線量[8]
減衰割合： $f_i = 2 \times (1/8) \times (d/L_1)^2 \times \Pi \{ (1/8) \times (d/L_i)^2 \times (\alpha / \sin \theta_i) \}$
μ 粒子[9]
$H_\mu = [25 / \{25 + (X/X_0)\}] \times [\{X(E_e) - X\} / X(E_e)] \times H_0 \quad [Sv/h]$
$H_0 = 8.0 \times 10^{-15} \times J \times E_e / r^2 \quad [Sv/h]$
放射化（空気、水）[10]
出典参照

※1：各パラメータの意味は参考文献を参照

表 2 加速器パラメータ

【蓄積リング】	
蓄積電子エネルギー	1.2GeV
周長	72.0m
蓄積電流	300mA 以上
エミッタンス	53nm-rad
エネルギー広がり	8.41×10^{-4}
ベータトロンチューン	(4.72,3.23)
モーメントムコンパクションファクター	0.020
エネルギーロス	86.2keV/turn
周回周波数	4.164MHz
RF 周波数	500MHz
ハーモニック数	120
RF 加速電圧	500kV
RF バケットハイト	0.926%
常伝導偏向電磁石 (1.4T)	偏向角 39°×8 台
超伝導偏向電磁石 (5T)	偏向角 12°×4 台
ラティス構成	Triple Bend セル 4 回対称
挿入光源用直線部	5.2m×1 本, 4.3m×1 本
【1.2GeV ブースターシンクロトロン】	
入射エネルギー	50MeV
最高エネルギー	1.2GeV
偏向電磁石磁場	1.0T
周長	48.0m
エミッタンス	約 200nm-rad
RF 加速周波数	500MHz
加速繰り返し	1Hz
電流	20mA
ハーモニック数	80
【直線加速器】	
電子エネルギー	50MeV
ピーク電流	60mA
パルス幅	<160nsec
加速繰り返し	1Hz

2 総括

計算結果より、中部 SR 施設に必要なしゃへい壁の厚さや配置を検討した。検討後のしゃへい壁を図 6 に、検討前のしゃへい壁を図 7 に示す。これらの設計検討により、中部 SR 施設における放射線しゃへい設計の最適化を行うことができた。

中部 SR 施設は愛知県瀬戸市及び豊田市に建設予定であり、平成 24 年度の供用開始に向けて敷地造成工事中である。中部 SR 施設の整備スケジュールを図 8 に、参考図を図 9～図 11 に示す。今後の展開としては、放射線量の計算式の出典確認（文献調査）、使用許可申請書の作成、理論値と実測値の比較及び検証（中部 SR 施設の供用開始後）等を考えている。

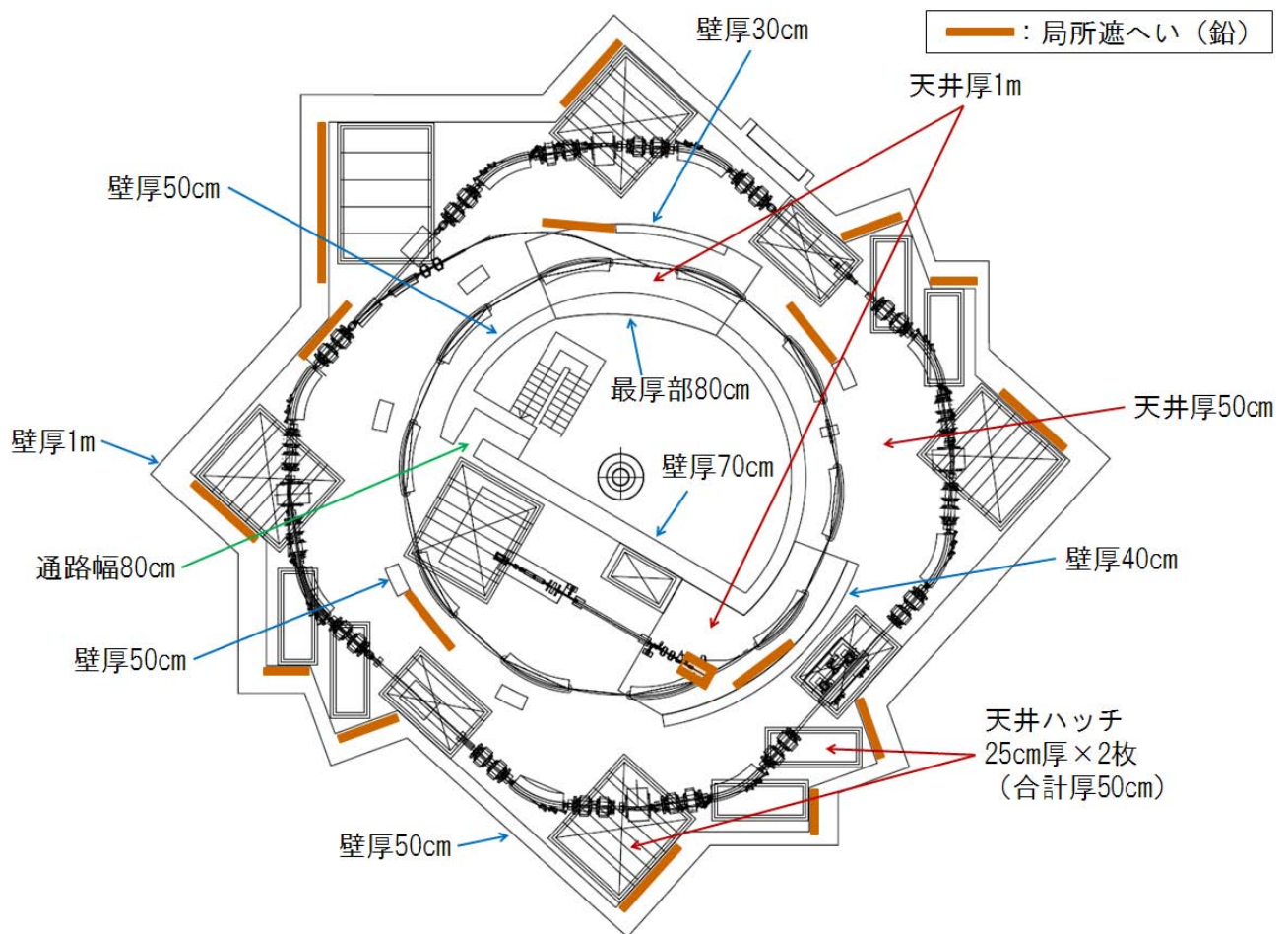


図5 中部SR施設 シャーヘイ壁（検討後）

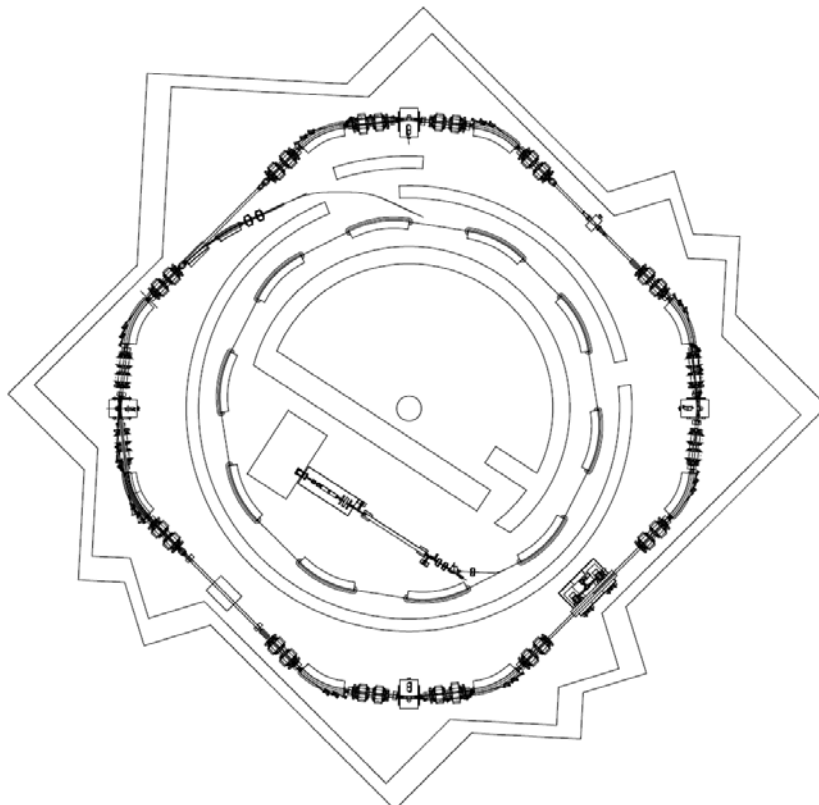


図6 中部SR施設 シャーヘイ壁（検討前）

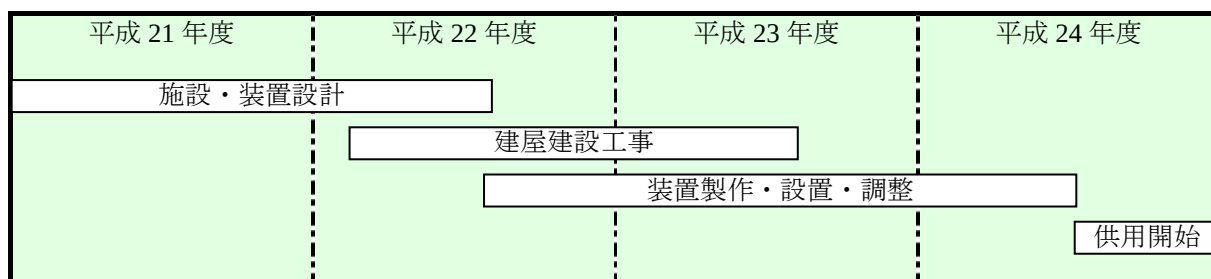


図 7 中部 SR 施設 整備スケジュール



図 8 中部 SR 施設 実験ホール 完成予想図



図 9 知の拠点 完成予想図



図 10 造成工事状況（平成 21 年 12 月 27 日）

参考文献

- [1] M. Sakano et al., Radiat. Prot. Dosim., 37 (1991) 165-173.
- [2] E. Braeuer, Radiation Shielding for the 6GeV ESRF/Shield/88-04 (1988)
- [3] H. Dinter and K. Teach: Nucl. Instr. Meth., 143,349 (1977)
- [4] T. M. Jenkins, Nucl. Instr. Meth., 159,265 (1979)
- [5] JAERI-Tech 98-009 大型放射光施設 SPring-8 の放射線遮蔽と安全評価（原研） p5 式 (2.6)
- [6] 放射光科学研究施設・光源リング トップアップ入射に係る放射線安全対策（高エネ研） p32 Thomas の式 (1978)
- [7] 放射線発生装置の使用許可申請書（佐賀 LS） p38 Tesch の式 (1987)
- [8] 放射線発生装置の使用許可申請書（佐賀 LS） p41 Simon-Clifford の式
- [9] JAERI-Tech 98-009 大型放射光施設 SPring-8 の放射線遮蔽と安全評価（原研） p4 式 (2.4) (2.5) Swanson の式 (1979)
- [10] JAERI-Tech 98-009 大型放射光施設 SPring-8 の放射線遮蔽と安全評価（原研） p34～36 式 (2.26) ～ (2.36)
- [11] 放射線発生装置の使用許可申請書（SPring-8） p30

名古屋大学男女共同参画室との取り組み 「青少年のための科学の祭典 2008 名古屋大会」参加報告

○永田陽子、鳥居実恵

工学系技術支援室 分析・物質技術系

1. はじめに

平成 20 年度「青少年のための科学の祭典 2008 名古屋大会」において、男女共同参画室より全学技術センターへ、科学の祭典のブース出展に係る支援指導の依頼があった。これは名古屋大学男女共同参画室の acalingo 隊という理系の女子学生有志のグループに、演示する実験テーマの選定、実験の手順及び試薬の準備、当日の実験での指導を行うものである。本研修会では支援指導の依頼のあった「青少年のための科学の祭典 2008 名古屋大会」で実際に行った実験内容について紹介する。今回の実験内容は、科学に対して広く一般に興味を持ってもらうことと、特に来場者の占める割合が高い小学生にも理解できるようなものを目的とした。その為、日常的で身近な興味を持てるもの、驚きを与えるもの、楽しめるもの、危険の少ないものを選び実演した。

2. 科学の祭典 2008 名古屋大会の概要

日時：平成 20 年 10 月 4 日、5 日 午前 9 時 30 分から午後 5 時

場所：名古屋市科学館（名古屋市中区栄 2-17-1）、名古屋市でんきの科学館（名古屋市中区栄 2-2-5）

来館者数：13,832 人（名古屋市科学館 10,431 人、でんきの科学館 3,401 人）

実験・工作ブース数：

- ・名古屋市科学館会場 53 ブース
- ・でんきの科学館会場 6 ブース

その他、両会場でサイエンスステージ・ワークショップも行われた。

3. 科学祭典 2008 での実験内容

名古屋大学男女共同参画室 acalingo 隊は、二つのブースを担当した。テーマは以下のとおりである。

化学実験室：高分子の合成～人工イクラ・ナイロン繊維を作りました♪

物理実験室：科学マジックショー ゆで卵はどこへ行った!?

以下に使用した実験テキストと当日の状況の写真を記載する。

高分子の合成

～人工イクラ・ナイロン繊維を作りました♪（このイクラは食べられません(>_<)）～

☆ 「低分子」が集まって「高分子」になる様子を観察しましょう。

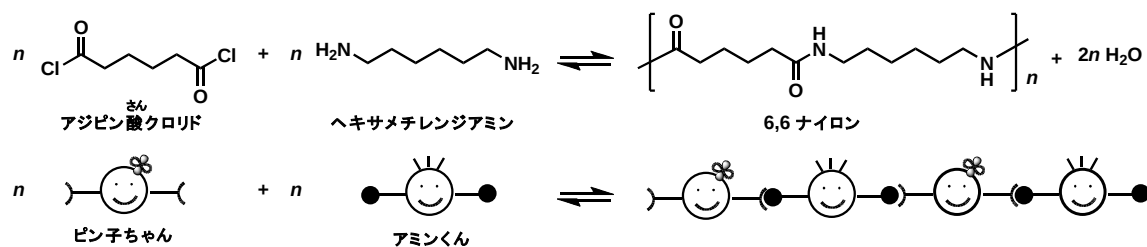
★アジピン酸クロリドとヘキサメチレンジアミン（2つの低分子）の重合反応→6,6 ナイロン（高分子）、糸がのび～る、のび～る

★アルギン酸ナトリウム（低分子）水溶液の塩化カルシウム水溶液へ滴下→アルギン酸カルシウムの膜（高分子）の生成、ぷちぷち人工イクラ

☆ 6,6 ナイロン-糸がのび～る、のび～る-

6,6 ナイロンは合成繊維のひとつで、1935 年アメリカ生まれの 73 歳です。かっぱ、水着、ストッキング

などに使われています。アジピン酸クロリドのヘキサン溶液とヘキサメチレンジアミンの水酸化ナトリウム水溶液を混ぜて作ります。(ピン子ちゃんとアミンくんがどんどんつながっていきます。)



☆ぷちぷち人工イクラ

アルギン酸ナトリウム水溶液 (A 液) を塩化カルシウム水溶液中に落とすと、粒ができます。A 液がアルギン酸カルシウムの高分子膜れ、水に溶けない粒になったのです。これがぷちぷち人工イクラの正手にとって観察してみましょう。つぶすと「ぷちっ」となるでしょう

☆実験の注意点

- ・実験が終わったら手を洗ってください。
- ・薬品が付いた手で目をこすらないでください。
- ・人工イクラは食べないでください。

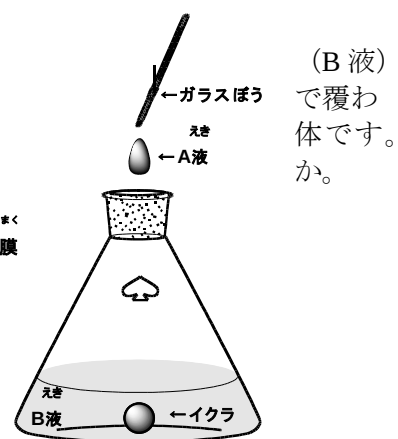
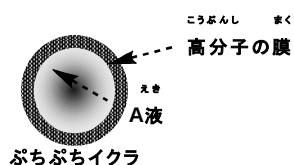


図. 実験の演示



図. 出来あがった 6, 6 ナイロンにさわってみる

科学マジックショー —ゆで卵はどこいった! ?—

☆科学には不思議がいっぱい

★圧力ってどんなものか知っていますか? 手を使わずにゆで卵や風船をビンの中に入れたり出したりしてみよう!

★あれ? 白かったはずの溶液が赤色に見える! ? 夕日がなぜ赤いのか一緒に考えてみよう!

☆ゆで卵の出し入れ

<用意するもの>

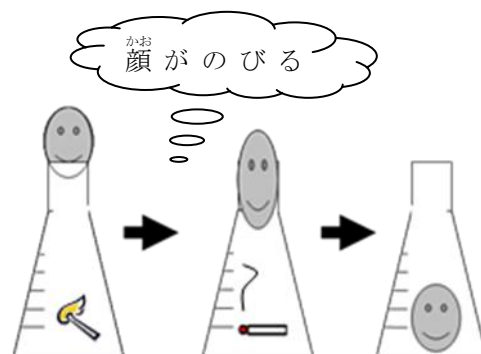
ゆで卵または水風船、ビン、マッチ、ドライアイス

<やりかた>

ビンの中に燃えたマッチや紙を入れ、ゆで卵を乗せます。また、ゆで卵の入ったビンの中にドライアイスを入れ、ビンを逆さまにします。

<どうして?>

ビンの中で物が燃えることにより、ビンの中の酸素が使われて圧力が下がります。ドライアイスが昇華して気体の二



酸化炭素になることによってビンの中の圧力が上がります。この圧力により手で触らなくてもゆで卵を出し入れすることができます。ペットボトルに入った炭酸のジュースを振ると、ペットボトルがふくらみ、開けると勢いよく噴射するのも圧力の影響です。

☆夕日はなぜ赤い？

＜用意するもの＞

水、牛乳、懐中電灯、水槽またはガラス管

＜やりかた＞

水槽に入った水に牛乳を数滴入れます。水槽の片側から懐中電灯の光を当て、もう片方からその光を観察します。

＜どうして？＞

光が微粒子に当たると散乱しますが、光の波長によって散乱のしやすさが違います。

青い光は散乱しやすく、赤い光は散乱しにくいのです。昼間の空が青く見えるのも光の波長によります。



図. 夕日の原理の説明



図. 減圧を利用してフラスコを持ち上げたところ

4. まとめ

科学の祭典 2008 名古屋大会には、各ブースの来場者は、両日合わせて約 700 人ずつと非常に多くの来場者があり、科学に親しんでもらえて好評であったと思う。特に、1 時間に一回の間隔で実験の演示を行ったが、化学実験室では、液体と液体から固体の物質ができるという事が新鮮に感じたようだった。6, 6-ナイロンは、液体と液体を混ぜると糸が出来るということで、視覚的にも分かりやすく、出来た 6, 6-ナイロンを触ってみることによって、子どもから大人まで楽しんでもらえたと思う。

物理実験ブースでは、大気圧を利用した「卵の出し入れ」が膨張した空気に押されて風船が三角フラスコから飛び出る現象が面白かったようだ。これは小さな子供にも原理の説明が簡単だった。また、同様に大気圧を利用して、三角フラスコを手でフタをして氷水で冷やし、フラスコを持ち上げる実験は、体感する事で空気が縮み、減圧を起こす現象が納得しやすくなるようであった。この実験は、小さな子供でも体験する事ができ、理解が容易で、準備の費用も少ないというメリットもある。今後も続けたい実験テーマである。圧力の実験では、最初は卵を使う予定だったが、食べ物を無駄にすることは教育的に良くないとのことで風船を使用した。

しかし、我々は初めての参加であったため、ブースの来場者数が予測できず、試薬の準備は十分であったが、人工イクラを持ち帰る袋などの消耗品が途中で不足した。人工イクラ持ち帰り用に用意した 500 袋は、

二日目の昼までに無くなってしまった。

今回参加した acalingo 隊の学生は、理系学部の学生の有志である。しかし、学部学生で研究室に未配属であったり、今回の実験テーマとは異分野の研究室や、理論系の研究室所属のため、普段このような実験を行わない学生もいた。しかし、実験の演示を行ったり、実験に対する来場者からの質問など分かり易く教えるなど、学生にとっても良い経験になったと思う。また、将来この会場に来た人が科学に興味を持ってもらえれば幸いである。

この科学の祭典への参加形態は、名古屋大学職員就業規則第 31 条に基づいて、実験講師として兼業として行った。

2009 年 10 月 科学の祭典 2009 名古屋大会に参加した。2010 年も参加予定である。

参考文献

- [1] 田中真人, et al, “公開実験 / (講義/教材) / 複合微粒子研究室 // **新潟大学 田中研究室**”, 新潟大学 田中研究室 Homepage (http://capsule.eng.niigata-u.ac.jp/howto/ht_ikura/)
- [2] 生活環境教育研究会, おもしろふしぎ 食べものの加工, , 社団法人 農山漁村文化協会 2002 年
- [3] 東村敏延, et al, 新高分子化学序論, 化学同人, 1995 年

○西村真弓、近藤一元

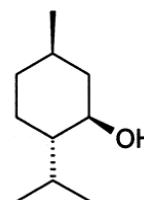
工学系技術支援室 分析物質技術系

はじめに

NMR（核磁気共鳴）装置は、有機化合物の構造に関する情報が多く得られ構造の決定に大きく寄与していることから非常に高い頻度で測定が行われている。そのため担当の技術職員には NMR の性能を常に高い状態に保持することが求められており、日々の管理業務としてパラメータの設定やシム調整などの操作を行いながら装置の性能維持に関わる基礎事項を習得してきた。しかし測定業務についてはまだ経験が十分ではなかった為、今後の測定依頼に柔軟に対応できるよう、また NMR についての知識・理解を更に深めることを目的とし、装置を用いて有機物質の構造解析を行うこととした。

1. 使用する装置とサンプル

解析を行う試料は *l*-menthol (溶媒 CDCl_3 、内部標準として TMS 添加、図 1)、装置は Varian 社 INOVA 700MHz を用い、 ^1H —および ^{13}C —NMR の様々な測定を行った。既知情報として分子式 $\text{C}_{10}\text{H}_{20}\text{O}$ であることが与えられているとする。個々の測定で得られる情報をまとめ、NMR 初心者が有機物質の構造解析を行う際にどのような測定を選択すればよいかという基礎的な流れを習得した。

図1. *l*-menthol

2. 測定項目詳細

構造解析のために、以下 6 つの測定を行った。

2.1 ^1H —NMR

分子中のプロトン核の個数、化学的環境、カップリング様式など、分子構造に関する情報が読み取れる。図 2 に得られたスペクトルを示し、表 1 に各ピークについてまとめた。この結果より、20 個のプロトンを持っていると推測され、先に与えられた分子式のプロトンの数と一致することが確認できた。

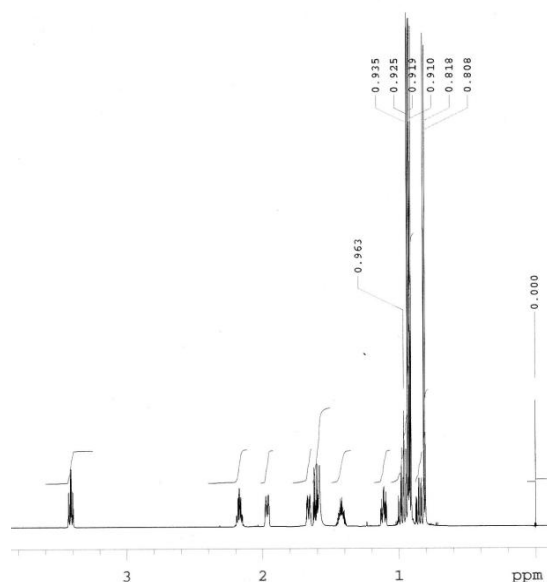


図2. ^1H —NMR スペクトル
(溶媒中の CHCl_3 シグナルは δ 7.27 に確認)

表1. ^1H —NMR スペクトルの分類

Peak at (ppm)	Splitting Pattern	Integral	Coupling Constants (Hz)
3.41	td	1	10.5, 4.7
2.14-2.20	m	1	-
1.95-2.00	m	1	-
1.65-1.70	m	1	-
1.55-1.63	m	2	-
1.38-1.48	m	1	-
1.09-1.15	m	1	-
0.93	d	3	7.0
0.92	d	3	6.3
0.83-1.03	m	3	-
0.81	d	3	7.0

2.2 ^{13}C -NMR

分子中の異なった種類の炭素の数とその核の化学的環境の情報が得られる。この結果より、10 個の炭素を持っていると推測され、先に与えられた分子式の炭素の数と一致することが確認できた。

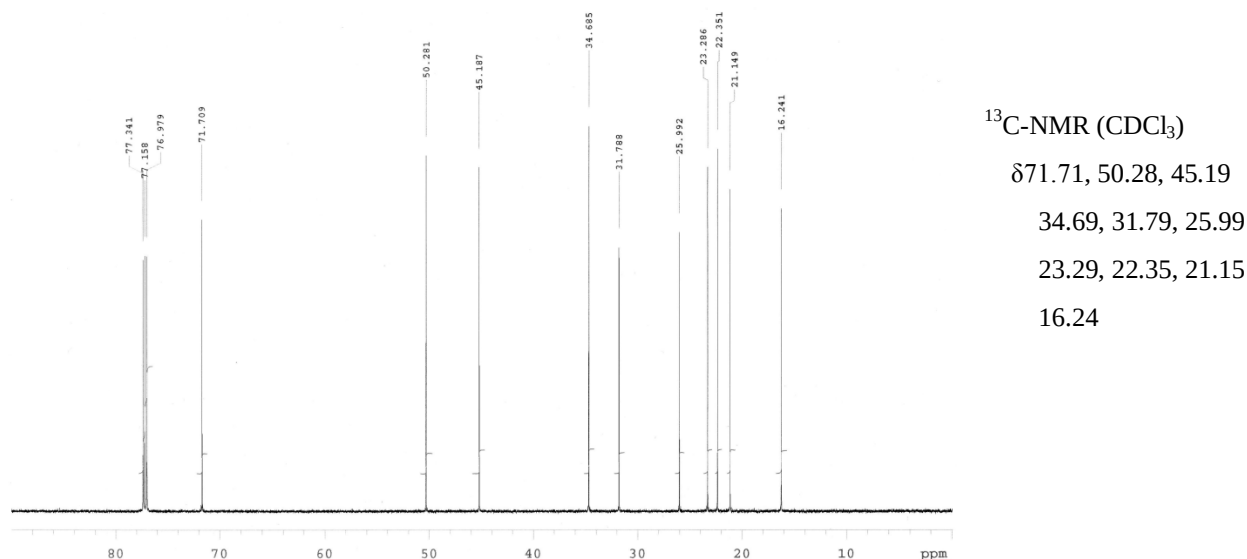


図3. ^{13}C -NMR スペクトル
(溶媒のシグナルは δ 77.16 に確認)

2.3 DEPT

^{13}C -NMR で得られたシグナルが、 CH_3 , CH_2 , CH , 四級炭素のいずれからのものであるかが同定できる。結果を図 4 に示す。これより、化学的環境が異なる CH_3 は 3 個, CH_2 は 3 個, CH は 4 個, 四級炭素は 0 個含まれることがわかった。 ^{13}C -NMR との結果のまとめを表 2 に示す。

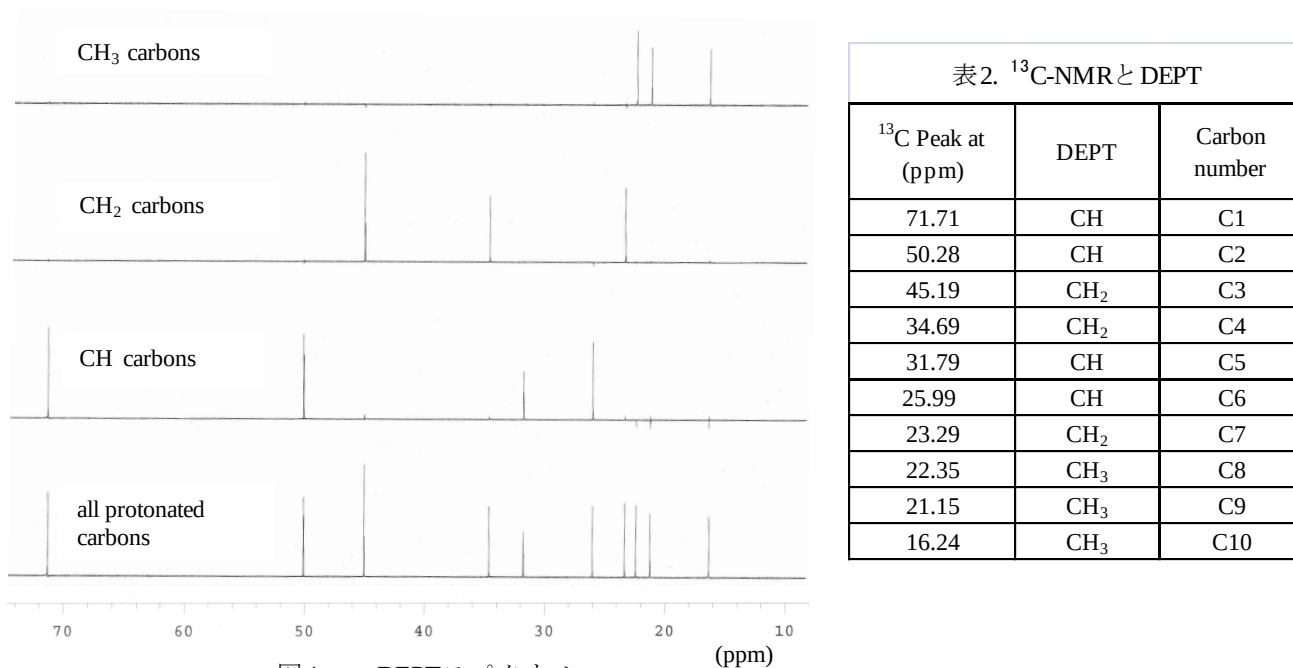


図4. DEPT スペクトル

DEPT 結果から H と C の数を計算すると、 $[\text{CH}_3] \times 3 + [\text{CH}_2] \times 3 + [\text{CH}] \times 4 = [\text{C}_{10}\text{H}_{19}]$ である。ここで、この物質の分子式が $[\text{C}_{10}\text{H}_{20}\text{O}]$ であることと比較すると、 $[\text{OH}]$ 基が存在することが推測される。

2.4 HETCOR

^1H の化学シフトとそれに結合する ^{13}C の化学シフト上に相関ピークが得られ、 ^1H - ^{13}C の相関が検出される。結果を図 5 に示す。

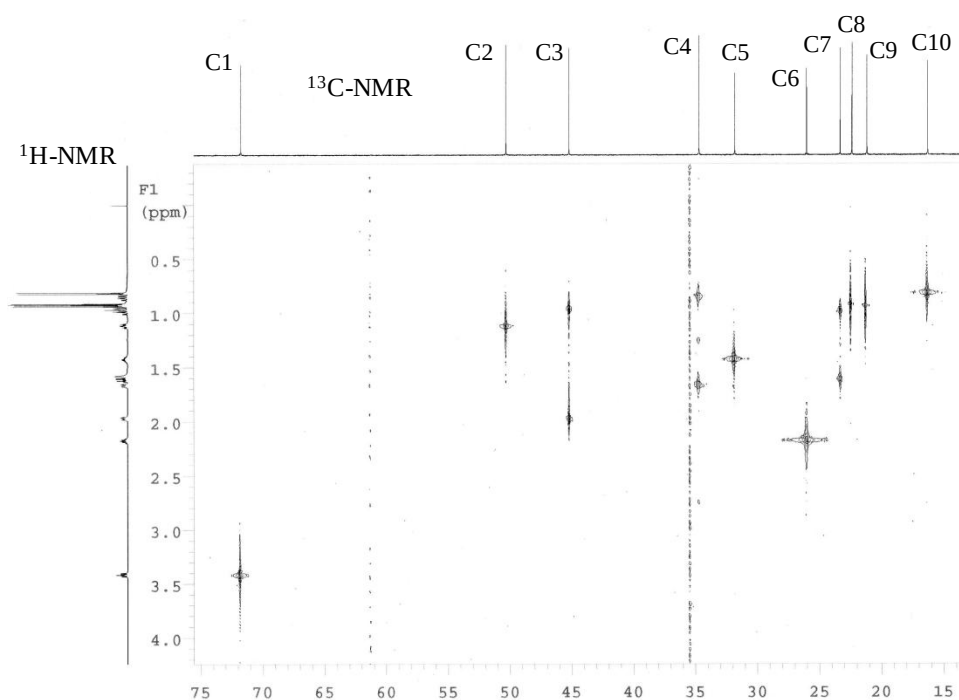


図5. HETCOR スペクトル

ここで、2.3 DEPT 結果よりこの物質には OH 基が存在していることが推察されている。OH 基が置換していると電子求引性の誘起効果を与えることが知られており、より低磁場側でシグナルが観測されるようになる。よって、OH 基は C1 に置換していることが考えられる。

HETCOR による ^1H - ^{13}C 相関をまとめたものを表 3 に示す。

表3. HETCORで判明した ^1H - ^{13}C 相関			
^1H Peak at (ppm)	Number scheme	^{13}C Peak at (ppm)	DEPT
3.41	1	71.71	CH
1.55-1.63	(OH)		
1.09-1.15	2	50.28	CH
1.95-2.00	3a	45.19	CH ₂
0.83-1.03	3b		
1.65-1.70	4a	34.69	CH ₂
0.83-1.03	4b		
1.38-1.48	5	31.79	CH
2.14-2.20	6	25.99	CH
1.55-1.63	7a	23.29	CH ₂
0.83-1.03	7b		
0.92	8	22.35	CH ₃
0.93	9	21.15	CH ₃
0.81	10	16.24	CH ₃

2.5 ^1H - ^1H COSY

2 または 3 結合だけ離れた ^1H 同士を検出する。結果を図 6 に示す。

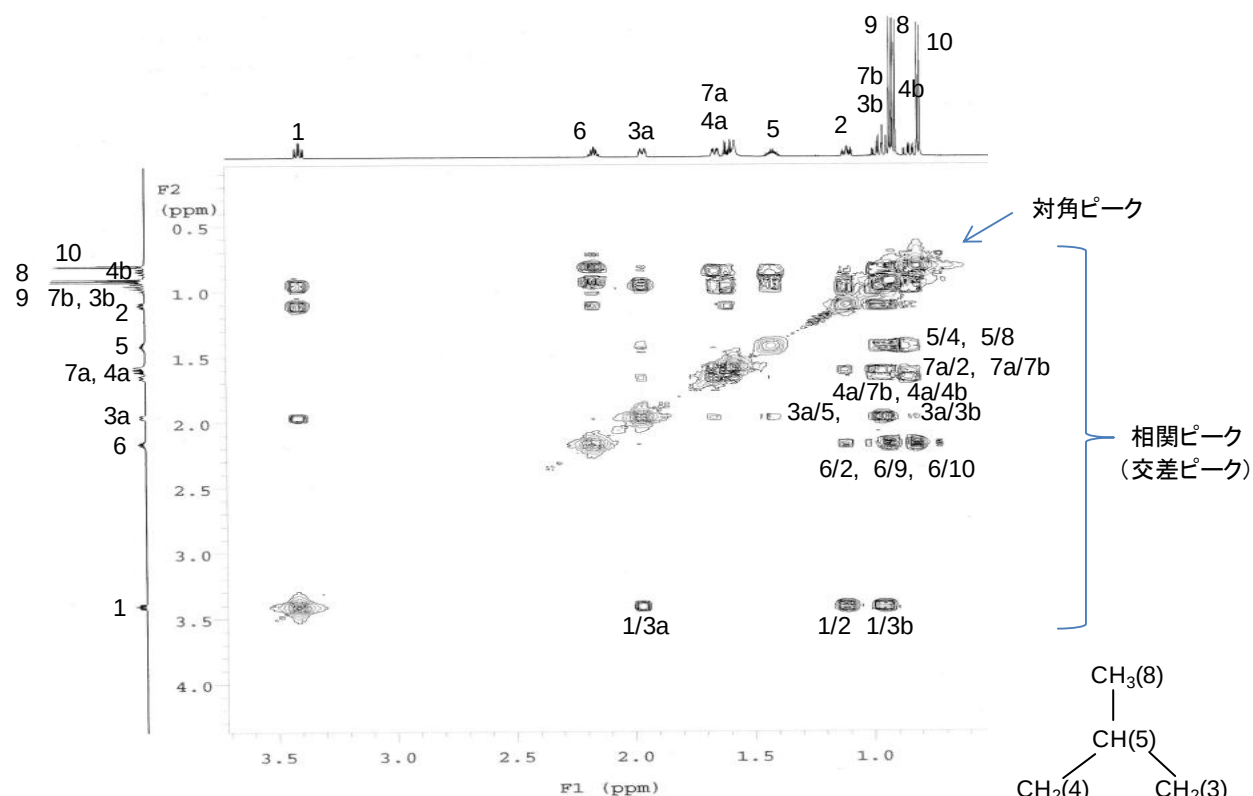


図6. COSYスペクトル

これらの相関を満たす構造は図 7 となり、menthol の骨格と推定できた。

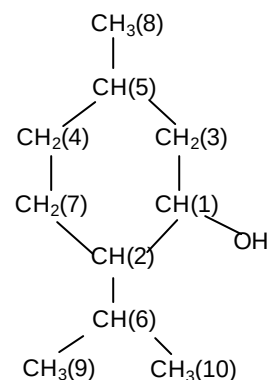


図 7. COSY からの推定構造式

2.6 NOESY

NOE を観測し、プロトン間の空間的な近さを確認する。結果を図 8 に示す。

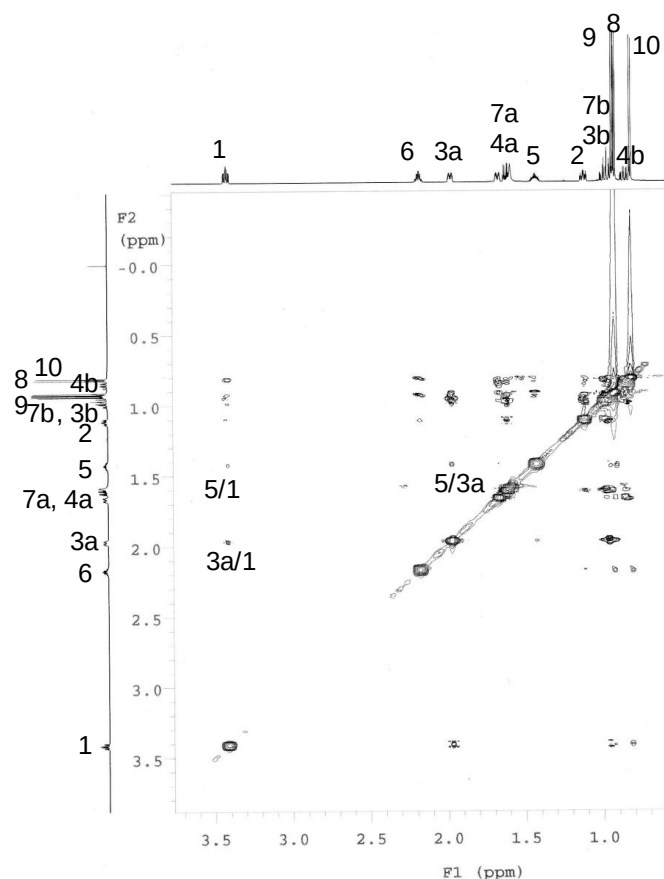


図8. NOESY スペクトル

この結果より、3 位の水素 a に対して 1 位の水素と 5 位の水素が空間的に近いことが判明した。すなわち、1 位の炭素に結合している OH 基と、5 位の炭素に結合している 8 位の CH_3 基が空間的に近いということとなり、図 1 に示したような menthol であることが確認できた。

しかし、今回行った測定では鏡像異性体の旋光度の違いを判別することは難しく、*d* 体 *l* 体を判別することはできなかった。

3. まとめ

構造解析を行った物質は ^1H -NMR によって 20 個の水素を有し、 ^{13}C -NMR によって 10 個の炭素を有することがわかった。また、DEPT 測定によって CH_3 基が 3 個、 CH_2 基が 3 個、 CH 基が 4 個含まれることがわかり、先に与えられた分子式から OH 基を有することが考えられた。HETCOR 測定によって ^1H - ^{13}C 相関が、COSY 測定によってプロトン同士の相関が得られ、また NOESY によってプロトン間の空間的な近さを確認できたことで分子の位置関係が推察され、 $\text{C}_{10}\text{H}_{20}\text{O}$ の menthol と同定できた。

おわりに

有機物質の構造解析を目的としたときに測定すべき基礎的な項目を実施した。しかし、より複雑な物質が対象となった場合は COSY だけではプロトン共鳴の明確な解析ができなくなることもあり、補完情報として同じ J 結合ネットワーク上のプロトンスピン系を決定する TOCSY 法やロングレンジの ^1H - ^{13}C 相関が観測される gHMBC 法を用いることも一般的である。これらの実験も含め今後も更なる技術の習得を目指していきたい。

参考文献

- 1) 富士江里,宗宮創 これならわかる二次元 NMR 化学同人 (2007) pp.14-21.
- 2) Varian ユーザーズミーティング資料 (2008) pp.3-29.